

桜島火山の黒灰・赤灰・白灰の性状と成因

著者	大庭 昇, 富田 克利, 山本 温彦, 大迫 暢光, 井ノ上 幸造
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	13
ページ	11-27
別言語のタイトル	Nature and Origin of Black Ash, Red Ash and White Ash from Sakurajima Volcano, Kyushu, Japan
URL	http://hdl.handle.net/10232/00001707

桜島火山の黒灰・赤灰・白灰の性状と成因

大庭 昇*・富田 克利*・山本 温彦*・
大迫 暢光**・井ノ上幸造*

(1980年6月29日受理)

Nature and Origin of Black Ash, Red Ash and White Ash from
Sakurajima Volcano, Kyushu, Japan

Noboru ŌBA*, Katsutoshi TOMITA*, Masahiko YAMAMOTO*,
Nobumitsu OHSAKO** and Kōzō INOUE*

Abstract

With respect to mineral and chemical compositions, x-ray powder diffraction and grain-size distribution of volcanic ashes from Sakurajima Volcano, Kyushu, Japan, and to optical nature and microstructure of ash-constituent minerals, greyish black-colored ash, called "black ash" erupted in 1974~1979, reddish dark grey-colored ash, called "red ash" erupted in 1968, and greyish white-colored ash, called "white ash" erupted in 1914, are compared with one another, and their origin are discussed.

Many evidences show that the black ashes, which are essentially almost or quite the same in their mineral and chemical compositions, came from solidifying lavas, by which the summit crater of the volcano had been buried, those which were explosively crushed and ejected by gas pressure which was accumulating within the vent. The red ash which is very different from both the black and white ashes in many respects is considered possible to be a mixture of the preexisted and recent ashes which were affected by alteration due to action by volcanic gases, perhaps, nearby the crater bottom. Meantime, the white ash characterized by abundant vesiculated volcanic glasses seems to be that which was ejected in a vesiculating state continuously from magma which came up to the craters from magma reservoir.

I. ま え が き

1955年10月13日、山頂爆発噴煙活動を開始した桜島火山は、その後断続的に活動を続け、1972年からは火山灰噴出量が急激に増大し、農園芸作物を全滅させるなど、火山周辺地域住民に深刻な打撃を与えてきている。しかし、果実の枯死、カイコの萎縮死に象徴される、降灰による各種産業・社会生活環境に与える悪影響発生のメカニズムについては、まだ十分に解明されていない。その理由は、原因者である火山灰そのものの本質・実態が十分に解明されていないからである。故に、その本質・実態を明らかにすることは、急務のことと言わなければならない。

* 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, Japan.

** 鹿児島大学理学部生物学教室 Department of Biology, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, Japan.

ない。

筆者らの1人、大庭は、1955年以来、火山灰の純粹試料採取と鏡下観察を継続して行ってきたが、この研究に対する社会的要望が極めて強いため、1977年以来、協力者と共に、火山灰の鉱物組成・化学組成の分析、X線回折、粒度分布測定、組成鉱物の光学測定、微粒子の偏光顕微鏡および電子顕微鏡観察等を実施してきた。

本報では、これまでの過程で明らかにされた黒灰・赤灰および白灰の性状を述べ、それらの成因に関する若干の考察を試みることにする。本報が、各方面の研究分野で役立つものとなることを期待する。

この研究のために貴重な大正3年噴出桜島火山灰試料を寄贈下さった鹿児島市貴島清二氏、初めに赤灰試料を提供下さり、問題点を指摘された桜井俊武氏、試料採取に協力下さった鹿児島県庁、同県垂水市役所、同協和中学校理科クラブ、桜島町黒神小中学校および鹿児島気象台に対し、また、医学面で助言下さった縄田千郎鹿児島大学名誉教授に対し、また、研究費の一部を援助下さった鹿児島県桜島地域学術調査協議会に対し感謝する。

II. 火山灰の種類および試料の採取

この研究で用いられた火山灰試料を第1表に示す。これらの試料の内、No. 78052301, No. 77052301, No. 741025 および No. 740723 の火山灰は外観灰黒色、No. 681013 は帯赤暗灰色、また、No. 140111 は灰白色を呈する。以下、それぞれ黒灰（くろはい）、赤灰（あかはい）および白灰（しろはい）と呼ぶことにする。試料 No. 79083001 の火山灰は、やや赤味を帯びた暗灰色を呈し、後述の理由で、赤灰に近い黒灰と言うべきものである。

1955年以来、桜島の火山灰と呼ばれてきたものは、通常ここで言う黒灰のことである。一方、桜島およびその周辺地域住民によって従来赤灰と呼ばれてきたものは、1968年および1972年降灰の際、農園芸作物を枯死全滅させ、特に甚大な被害を与えたことで社会問題化したものであり、その実態の究明が急がれていたものである（大庭, 1972）。また、白灰は、1914年（大正3年）桜島爆発当時採取されたもので、1914年以前および以後の白灰噴出に関する記録は知られていない。

Table 1. Volcanic ashes from Sakurajima Volcano used for this study

No.	Date of eruption	Color; name of ash	Locality	Weather	Coll.
79083001	1979. 8. 30	Dark grey tinged with red; black ash analogous to red ash	Faculty of Science, Kagoshima Univ.	Fine, gentle windy	NO
78052301	1978. 5. 23	Greyish black; black ash	"	Fine, weak windy	"
77052301	1977. 5. 23	"	"	Fine, gentle windy	"
741025	1974. 10. 25	"	"	Fine	"
740723	1974. 7. 23	"	"	"	"
681013	1968. 10. 13	Reddish dark grey; red ash	Ushine, Tarumizu City, Kagoshima Pref.	Unknown	TS
140111	1914. 1. 11	Greyish white; white ash	Kagoshima City	"	SK

SK: S. KIJIMA. NO: N. ŌBA. TS: T. SAKURAI.

理学試験に供される火山灰試料は、その実態が正しく把握されるためには純粋でなければならぬ。数日間雨天にさらされ、水によって洗われ淘汰された火山灰はただの砂に過ぎない。この理由で、不純物の混入したもの、強風時に堆積したもの、降雨時または降雨後に降下したものは避け、寄贈された赤灰と白灰を除けば、清浄と認められた環境下に降下した、純粋と判断された火山灰を筆者自身が直接採取し、スチロール試料瓶に密閉保存したものを各種試験に用いた。

これらの試料の内、No. 741025 は化学分析および大量の試料を必要とする粒度分布測定のために用いられ、No. 79083001 は化学分析のみに用いられた。また、No. 681013 および No. 140111 については、量僅少のため、粒度分布測定は行なわれなかった。

III. 桜島火山灰の鉱物組成

黒灰の No. 78052301 および No. 77052301 はそれぞれ約 4g、赤灰の No. 681013 および白灰の No. 140111 はそれぞれ約 1g をとり、水を用い、沈澱物と浮遊超微粒子とに分け、それぞれ回収し、スライドガラス上に分散固定し、検鏡した。超微粒子を除く粒径 300μ または 200μ ないし 50μ 程度の範囲の粒子についてポイント・カウンティングを行ない、累積 2,000 点前後計測し、これから鉱物容量比（第 2 表）を求めた。

Table 2. Volume ratios (%) of constituent minerals of volcanic ashes from Sakurajima Volcano

No.	Ash; rock	Pl	Hy	Au	Mt	M	C	M+C	TG	Coll.	Anal.
78052301	Black ash	22.5	5.2	3.4	1.4	67.2	-	67.5	0.3	NO	KI
77052301	Black ash	21.2	5.5	4.9	3.7	64.7	-	64.7	tr	NO	KI
681013	Red ash	11.4	1.5	1.1	1.3	84.7	-	84.7	tr	TS	KI
140111	White ash	19.9	3.8	3.2	2.4	70.7	-	70.7	tr	SK	KI
58031901-F	1946 lava	19.9	3.4	1.3	1.1	62.7	11.6	74.3	n	*	*
58031901-H	1946 lava	20.1	4.0	2.2	1.1	60.0	12.7	72.7	n	*	*
	Bomb ejected in 1977 from Minami-dake	20.9	1.9	2.8	1.1			73.8	n	TK	MY

Pl: Plagioclase. Hy: Hypersthene. Au: Augite. Mt: Magnetite. M: Matrix. C: Cavity.

TG: Transparent volcanic glass. KI: K. INOUE. TK: T. KAKUTA. MY: M. YAMAMOTO.

* NAGASAWA and ŌBA (1959). n: Not measured.

桜島火山灰は、主に石質岩片粒子・斜長石・紫蘇輝石および普通輝石からなり、磁鉄鉱その他の酸化鉄鉱・リンカイ石およびジルコンを随伴する。

石質岩片粒子は、その構成物質および組織からみて、噴煙活動の際、爆砕され放出された溶岩のマトリックス部分に相当するものと判断される。以下、これをマトリックス粒子または単にマトリックスと呼ぶことにする。

マトリックス粒子は、主に火山ガラスまたは火山ガラスと晶子・微晶とからなり（第 1 図 C）、まれに斑晶鉱物を有するもの（第 1 図 B）が認められる。赤灰を除く他の火山灰中のマトリックス粒子は、容量比でおよそ 65~71%，斜長石は 20% 前後を占める。赤灰は、マトリックス粒子が著しく多く（第 1 図 D）、反対に、造岩鉱物の著しく少ないことが特徴的である。

桜島火山灰の鉱物容量比について、比較されるべき既知データがないため、参考までに 1946

年流出昭和溶岩および1977年南岳放出火山弾の鉱物容量比を第2表に併記する。赤灰を除く他の3試料火山灰は、鉱物容量比の点からみて、1946年流出昭和溶岩にほぼ近いものであることが分かる。

IV. 火山灰組成鉱物の屈折率

桜島火山灰組成鉱物の屈折率(20°C)を第3表に示す。紫蘇輝石の屈折率(γ)は、黒灰 No. 78052301 および No. 77052301 で同じ値 1.711 が測定され、赤灰 No. 681013 ではこれよりやや低い値、反対に、白灰 No. 140111 ではやや高い値が測定された。斜長石の屈折率(n_1)は前記4試料共大差なく、1.557~1.560が測定された。

Table 3. Refractive indices of constituent minerals of volcanic ashes from Sakurajima Volcano

No.	Date of eruption	Locality	Ash	Hy (γ)	Pl (n_1)	Pl (n_2)	MG (N)	TG (N)	Coll.
78052301	1978. 5. 23	Fac. of Science, Kagoshima Univ.	Black ash	1.711	1.557		1.524	<1.512	NO
77052301	1977. 5. 23	"	Black ash	1.711	1.559		1.524	<1.512	NO
681013	1968. 10. 13	Tarumizu City, Kagoshima Pref.	Red ash	1.707	1.559		1.538~1.517	<1.517	TS
140111	1914. 1. 11	Kagoshima City	White ash	1.716	1.560		1.530	1.530	SK
	1955. 10. 13	Saido, Sakurajima	Black ash		1.559	1.567			KM
	1955. 10. 22						1.50~1.52		*
	1956. 5. 12	Kurokami, Sakurajima	Black ash		1.565	1.569			KM
	1957. 6. 26	KM	Black ash		1.566	1.574			KM
	1958. 6. 19	Bunrigaku-bu, Kagoshima Univ.	Black ash		1.560	1.573			NO
	1958. 11. 18	JK, Tarumizu City, Kagoshima Pref.	Black ash		1.564	1.573			JK
58031901-F	1946	Kurokami, Sakurajima	1946 lava	$1.700 < \beta < 1.738$	1.560		1.506~1.529		**

MG: Matrix volcanic glass. TG: Transparent volcanic glass. JK: Kyōwa Junior High School. KM: Kagoshima Meteorological Observatory. *KANNO (1961). **NAGASAWA and ŌBA (1959).

火山ガラスの屈折率は、マトリックスをつくっている火山ガラスと、斑晶鉱物中に包有され、それから由来したと判断される透明火山ガラスとに分けて測定された。黒灰および赤灰中の透明火山ガラスは、鏡下透過光で赤褐色~褐色を呈するものが多い。以下の説明の便宜上、マトリックス粒子の主体を構成し、晶子や微晶を含む火山ガラスをマトリックス火山ガラス、また、斜長石等斑晶鉱物中に包有され、それから分離したと判断される赤褐色~褐色を呈する透明火山ガラスを褐色透明火山ガラスと呼ぶことにする。

マトリックス火山ガラスの屈折率は、黒灰で 1.524、白灰でやや高い値 1.530 が測定された。これに対し、赤灰では、測定された屈折率の値に大きな幅があり、最大 1.538、最小 1.517 が測定された。

一方、褐色透明火山ガラスの屈折率については、黒灰中および赤灰中での存在がまれであっ

たため、最終的に決定することができなかった。しかし、黒灰中の褐色透明火山ガラスは黒灰中のマトリックス火山ガラスの屈折率 1.524 よりも明らかに低く、また、赤灰中の褐色透明火山ガラスは赤灰中のマトリックス火山ガラスの最小屈折率 1.517 より明らかに低いことが確認された。白灰中では、透過光で無色の透明火山ガラスが多数観察され、マトリックス火山ガラスと全く同一の屈折率が測定された。

桜島火山灰組成鉱物の既知屈折率の一部を、比較のため第3表に併記する。また、参考のため、1946年昭和溶岩中の組成鉱物の屈折率を同表に併記する。この内、1955～1958年噴出火山灰中の斜長石の屈折率データは、1957～1958年に実施された鹿児島大学桜島火山活動研究会において、筆者の一人が報告したもの（大庭，1959）の一部である。第4表に、1955～1958年噴出火山灰中の斜長石について測定された屈折率を示す。

Table 4. Refractive indices of plagioclases from volcanic ashes erupted in 1955～1958 from Sakurajima Volcano

Date of eruption	Locality	Plagioclase	
		n_1	n_2
1955. 10. 13	KM, Kagoshima City	1.567	1.569
"	Saido*	1.559	1.567
1955. 10. 15	Arimura*	1.559	1.564
1955. 10. 19	Nishi-Sakurajima Junior High School*	1.561	1.566
1956. 4. 13	Take*	1.563	1.573
1956. 5. 2	Sakurajima	1.559	1.567
1956. 5. 12	Kurokami*	1.565	1.569
1956. 5. 14	Sakurajima	1.564	1.570
1956. 5. 18	Nojiri*	1.557	1.560
1956. 5. 31	Kurokami*	1.553	1.560
1957. 1. 18	Saido*	1.565	1.570
1957. 1. 22	Arimura*	1.567	1.572
1957. 3. 19	Kurokami*	1.565	1.575
1957. 3. 20	Arimura*	1.561	1.574
1957. 6. 26	KM, Kagoshima City	1.566	1.574
1958. 6. 19	Bunrigaku-bu, Kagoshima Univ.	1.560	1.573
1958. 11. 18	JK, Tarumizu City	1.564	1.573
1958. 11. 20	Tarumizu City Office	1.564	1.573
1958. 11. 24	"	1.564	1.573
1958. 12. 4	"	1.568	1.573
"	JK, Tarumizu City	1.565	1.574

All places with mark * are located within Sakurajima.

1977～1978年噴出黒灰、1968年噴出赤灰および1914年噴出白灰中の斜長石の屈折率 n_1 を1955～1958年のそれと比較すれば、完全に一致するものがある。また、昭和溶岩中の斜長石の屈折率とほとんど一致する。また、黒灰中および白灰中のマトリックス火山ガラスの屈折率は、昭和溶岩中の火山ガラスの最大屈折率にほとんど一致する。

V. 火山灰微粒子の形状および微構造

1. 試料および観察方法

火山灰微粒子の形状および微構造の鏡下観察には、鉱物容量比測定に用いられた検鏡用薄片

および分離回収された超微粒子のみを封じた検鏡用薄片を用いた。また、屈折率測定に用いられた薄片に封じていないマフィック鉱物を主とするもの、フェルシック鉱物を主とするものおよび超微粒子のみを集めたものを用い、観察される主対象となる鉱物種に応じて低～高屈折率または水を選び、その中に粒子を浸漬させ、透過光で観察した。不透明鉱物については反射光も併用した。

鏡下観察に当たっては、微粒子の形状・色・粒径・鉱物種の識別・組成鉱物の見掛けの量的割合および微構造、特に (a) マトリックス粒子の多少、(b) 斑晶鉱物中の包有火山ガラスの有無・配列状態、(c) 非包有火山ガラスの有無・存在状態および (d) 火山ガラス中の気泡の有無・多少に留意した。

2. 鏡下観察結果

開放ニコル下、浸液中に置かれた状態で撮影された火山灰微粒子の形状・微構造等を第1図に示す。

粒径 200μ 前後ないし 50μ 前後の微粒子について鏡下で観察された結果を、黒灰・赤灰および白灰に分けて、以下に要約記載する。

(1) 黒 灰

試料 No. 78052301 および No. 77052301 の黒灰は、鏡下での微粒子の粒径・色・形状および微構造がほとんど全く同様である。マトリックス粒子には、しばしば hyalopilitic 組織 (第1図 C) やフェルト状～流状組織を呈するものが認められる。No. 78052301 の火山灰粒子中に、極めてまれに気泡を有するマトリックス火山ガラスが認められる。斜長石には、褐色透明火山ガラスを包有するものと包有しないものがある。輝石中にもまれに褐色透明火山ガラスが包有される。

斜長石中に包有される褐色透明火山ガラスには、斜長石のへき開線に平行配列するもの (第1図 A)、果帯構造に沿って同心円状に配列するもの、および不規則に包有されるものが観察される。1977年桜島南岳放出火山弾中の斜長石中の包有褐色透明火山ガラスが、すべて規則的配列をしているという事実からみて、火山灰微粒子中の斜長石の一部に見られる包有褐色透明火山ガラスの不規則的配列は、見掛け上のことかも知れない。

(2) 赤 灰

試料 No. 681013 の赤灰は、検鏡された火山灰の中で、白灰に次いで微細な粒子が多く、鉄酸化物を含むため赤褐色を呈する、丸みある不規則な形状のマトリックス火山ガラス粒子が極めて多い (第1図 D)。粒子中に褐色透明火山ガラスがまれに観察される。これは、それを包有していた斑晶鉱物から由来したものと判断される。マトリックス火山ガラス中に気泡の存在は認められない。

(3) 白 灰

試料 No. 140111 の白灰は、検鏡された火山灰中、最も微細な粒子に富み、鋭角に富む不規則な裂片状および針状・長柱状などの形状を呈する粒子が圧倒的に多く認められる (第1図 E)。マトリックス粒子は、無色 (透過光) 透明火山ガラスと晶子からなるものが極めて多い。また、気泡を含む発泡状マトリックス火山ガラス (第1図 E, F) が極めて多い。褐色透明火山ガラスを包有する斜長石がまれに認められる。

3. 電子顕微鏡下で観察される火山灰微粒子の形状

第2図に、電子顕微鏡下で観察されるミクロン単位火山灰微粒子の形状を示す。火山灰微粒

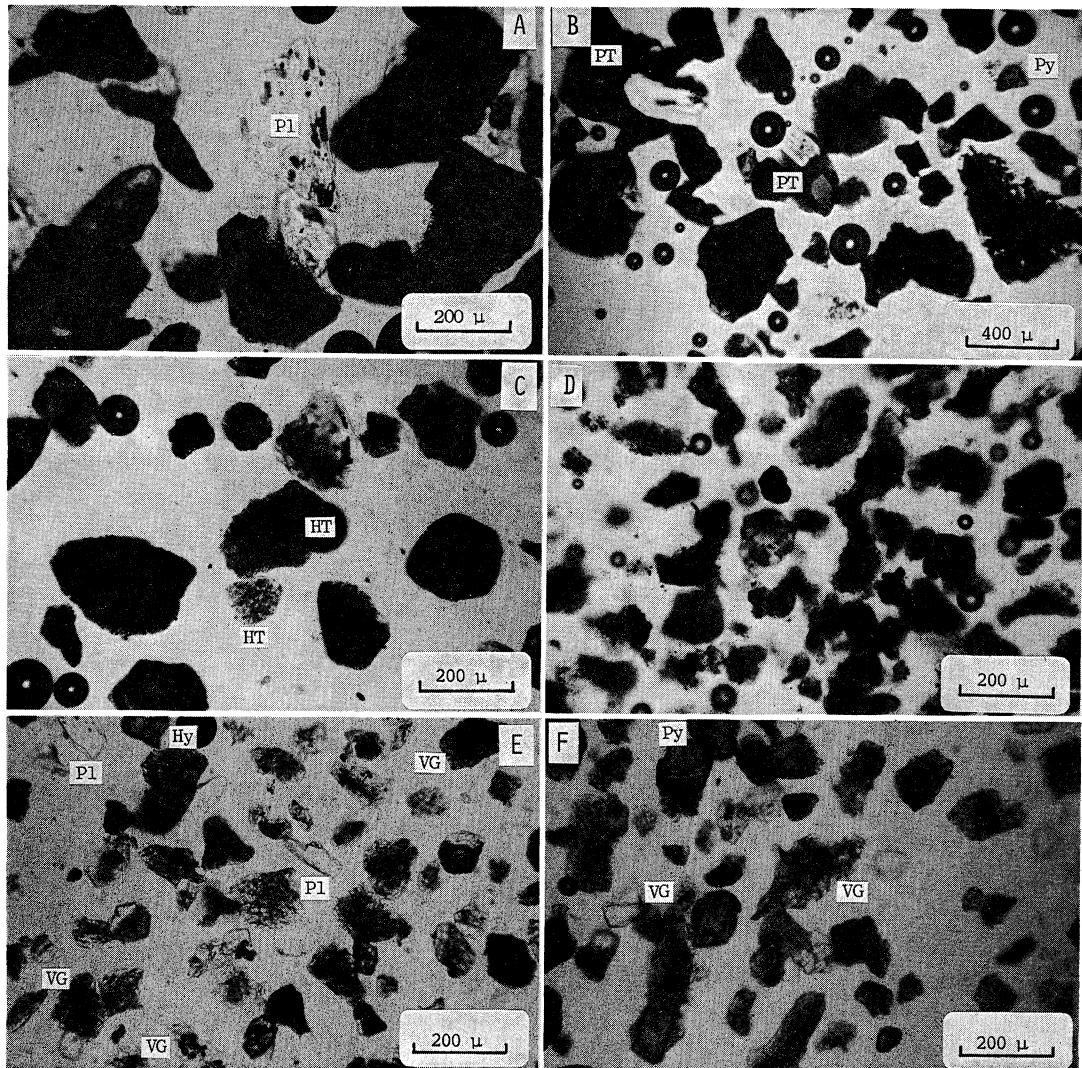


Fig. 1. Microphotographs of constituent micrograins of volcanic ashes from Sakurajima Volcano. Taken by N. ŌBA in an immersed state in oil under the open nicol.

- A. Plagioclase (Pl) within which micrograins of brown-colored transparent volcanic glass are regularly arranged. Sample No. 78052301, black ash (I-16).
- B. Micrograins (PT) showing porphyritic texture in which plagioclase-phenocrysts are distributed in matrix. Sample No. 78052301, black ash (III-13 B). Py: Pyroxene.
- C. Matrix micrograins (HT), consisting of volcanic glass and crystallite, those which show hyalopilitic texture. Sample No. 77052301, black ash (III-22B).
- D. Rounded irregular shaped reddish brown-colored micrograins. Sample No. 681013, red ash (V-13B).
- E. Irregular shaped light-colored micrograins of matrix-volcanic glass and vesiculated one (VG). Sample No. 140111, white ash (IV-20). Pl: Plagioclase. Hy: Hypersthene.
- F. Micrograins of vesiculated matrix-volcanic glass (VG). Sample No. 140111, white ash (VI-2).

子の粒径は、電子顕微鏡写真で見る限り、鋭角に富む 5μ 前後のものと $0.1\sim 0.01\mu$ のものが圧倒的に多い。粒径 5μ 前後の微粒子は、本来の鉱物特性を反映した形状を示すものと思われ、長柱状～針状を呈するものは主に長石の晶子あるいは微晶と推定され、不規則な形状を呈

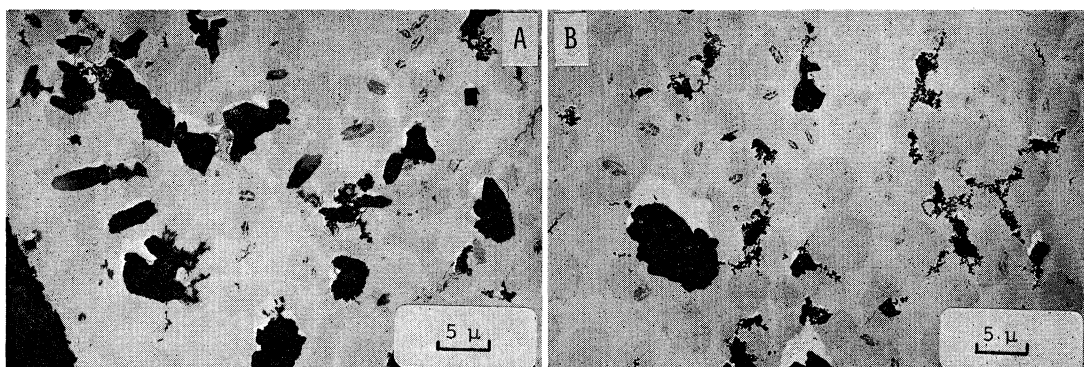


Fig. 2. Electron microscope photographs showing shapes of micrograins of volcanic ashes from Sakurajima Volcano. A. Sample No. 740723-1, black ash. B. Sample No. 740723-8, black ash. Photos taken by N. OHSAKO.

するものは主に火山ガラスと推定される（第2図A）。一方、粒径 $0.1\sim 0.01\mu$ 程度の微粒子は、スケルトン状～紡錘状集合体を呈する（第2図B）。個々の粒子の形状は明らかでない。

VI. 火山灰の化学組成

1. 試料の準備および分析方法

火山灰試料は、すべて粒径 300μ または 200μ 以下のものが95%（重量比）以上を占める粒子からなるものであるため、そのまま分析に用いることとし、約2gを高速振動ミルで全粉碎し、化学分析に供した。

分析には、次ぎの方法を用いた。 Al_2O_3 , Total Fe_2O_3 , MnO, MgO, CaO, Na_2O および K_2O については過塩素酸一沸化水素酸分解し、原子吸光分析を行ない、 SiO_2 および TiO_2 は蛍光X線分析または湿式重量分析、また、FeO, $\text{H}_2\text{O}\pm$ および P_2O_5 は通常の湿式分析によって行なった。

2. 分析結果および既知分析値との比較

分析結果を第5表に示す。比較のため、1945年・1955年噴出火山灰、1946年昭和溶岩および1956年・1977年南岳放出火山弾の分析値を併記する。

第5表中、試料No. 78052301 および No. 77052301 の黒灰は、化学組成からみて、全く同一の物質であると言える。1974年噴出試料No. 740723 および No. 741025 の黒灰もまた、化学組成のみから言えば、前記2試料黒灰とほとんど変わらない。

既知分析値と比較すれば、1974～1978年噴出黒灰は、1956年・1977年南岳放出火山弾および1946年昭和溶岩の分析値に近い値を示す。一方、1974～1978年噴出黒灰の分析値に比べ、1968年噴出No. 681013の赤灰、1979年噴出No. 79083001の火山灰および1914年噴出No. 140111の白灰は、それぞれ明らかに相違するところがある。

なお、種々の物質に悪影響を与える一つの原因となるものとして、火山灰粒子表面に付着する火山ガス成分が指摘される。小坂・小沢（1975）によれば、新鮮な火山灰粒子には、予想外に多量のガス成分が付着しており、1974～1975年噴出火山灰について、水に可溶の SO_4^{2-} は最低208mg/Kg, 最高13,000mg/Kg, また、 Cl^- は最低18.4mg/Kg, 最高2,800mg/Kgが測定されている。

Table 5. Chemical analyses of volcanic ashes from Sakurajima Volcano

No.	79083001	78052301	77052301	741025	740723	681013	140111	Methods					
Date of eruption	1979.8.30	1978.5.23	1977.5.23	1974.10.25	1974.7.23	1968.10.13	1914.1.11		1955.10.22	1945.8.20	1977.11.30	1956	1946
Ash & rock	Ash*	Black ash	"	"	"	Red ash	White ash		Ash	"	Volcanic bomb**	"	1946 lava
Anal. & ref.	MY	"	"	MY,YY,TF	"	MY	"		(1)	(1)	MY	(2)	(3)
SiO ₂	59.85(XS)	59.68(XS)	59.28(XS)	57.64(G)	59.56(G)	54.45(G)	61.68(G)	XS, G	62.12	59.42	60.02(G)	59.69	61.23
TiO ₂	1.41(XS)	0.85(XS)	0.82(XS)	0.82(XS)	0.85(XS)	1.19(C)	1.24(C)	XS, C	0.42	0.51	0.88(C)	0.55	0.71
Al ₂ O ₃	16.91	17.51	16.92	17.53	17.64	15.44	16.59	AA	14.23	14.94	16.81(AA)	17.60	16.62
Fe ₂ O ₃	2.70	1.92	1.53	1.82	0.36	4.90	2.19	"	7.99	8.77	1.61(")	2.14	2.21
FeO	3.85	5.17	5.80	4.78	6.12	2.65	3.77	V	nd	nd	5.67(V)	5.24	4.90
MnO	0.15	0.15	0.16	0.12	0.13	0.09	0.13	AA	0.07	0.09	0.16(AA)	0.09	0.14
MgO	2.72	2.88	2.89	2.47	2.64	1.49	1.79	"	2.55	1.63	3.00(")	2.61	2.72
CaO	5.63	6.14	6.37	6.12	6.05	5.75	4.86	"	5.71	6.82	5.65(")	6.51	6.72
Na ₂ O	3.17	3.19	3.07	3.10	3.30	2.41	3.68	"	4.13	5.24	3.37(")	3.38	2.59
K ₂ O	1.41	1.38	1.27	1.57	1.49	1.12	1.70	"	0.89	1.10	1.42(")	1.43	1.99
H ₂ O+	1.55	0.78	1.51	3.41	1.74	8.32	1.58	G	1.40	0.72	0.81(G)	0.44	0.42
H ₂ O-	0.38	0.06	0.20	0.68	0.46	2.26	0.40	"	0.25	0.26	0.22(")	0.23	
P ₂ O ₅	0.08	0.10	0.09	0.03	0.13	nd	0.06	C	0.28	0.18	0.11(C)	0.21	0.16
Total	99.81	99.81	99.91	100.09	100.47	100.07	99.67		100.04	99.68	99.73	100.12	99.92

* Black ash tinged with red. ** Ejected from Minami-dake. AA: Atomic absorption. XS: X-ray spectroscopy. G: Gravimetry.

V: Volumetry. C: Colorimetry. TF: T. FUKUDA. YY: Y. YAMASHITA. (1) KANNO (1961). (2) TANEDA and MORITA (1958). (3)

ARAMAKI (1977); aver. of 3 analyses.

VII. 火山灰の粉末法 X 線回折

複雑な多結晶体からなる桜島火山灰の X 線回折曲線の位置および強度の違いから、火山灰の時間的経過に伴う性状変化の有無を検討する目的で、理学電機 KG-4 型 X 線回折装置を用い、30KV, 15mA, CuK α の測定条件で、Ni フィルターを用い、粉末法 X 線回折を行なった。第 3 図および第 4 図にそれを示す。

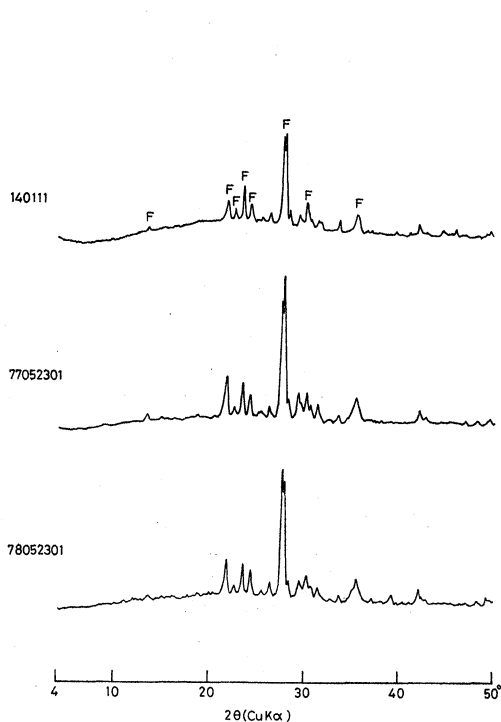


Fig. 3. X-ray powder diffraction patterns for volcanic ashes from Sakurajima Volcano. 78052301 & 77052301: Black ashes. 140111: White ash.

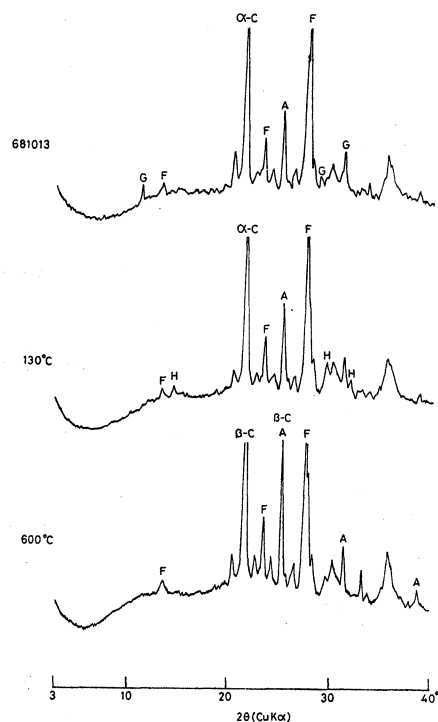


Fig. 4. X-ray powder diffraction patterns for volcanic ash, called "red ash", sample no. 681013, from Sakurajima Volcano. α -C: α -cristobalite. β -C: β -cristobalite. F: Feldspar. G: Gypsum. H: Hemihydrate. A: Anhydrite.

第 3 図中、No. 78052301 と No. 77052301 の黒灰および No. 140111 の白灰の 3 試料は、いずれもほとんど同じパターンを示し、 2θ 28° 付近、 23.5° 、 24.4° 、 29.4° および 30.2° でそれぞれピークが認められる。特に 28° 付近で見られるダブル・ピークは、長石類に特徴的なものである。ただし、No. 140111 の白灰に見られる 2θ $10^\circ \sim 30^\circ$ 間のベースの持ち上がりは、この火山灰が非晶質珪酸に富むことを示している。

一方、No. 681013 の赤灰には、 α -クリストバル石、硬石膏および石膏が検出された（第 4 図）。これらの物質の存在は、加熱処理によってさらに確認された。すなわち、 130°C 加熱で石膏のピークは消失し、hemihydrate（半水石膏）の生成を示すピークが現われ、 600°C 加熱で hemihydrate のピークは消失し、代わりに硬石膏の生成を示すピークが現われ、また、 α -クリストバル石の代わりに β -クリストバル石を示すピークが現われた。

なお、No. 681013 の赤灰には、No. 140111 の白灰における場合と同様に、 2θ $10^\circ \sim 30^\circ$ 間でベースの持ち上がりが認められ、火山灰中に非晶質珪酸の多いことを示している。

結局、X線回折パターン観点から、黒灰に対し、白灰は非晶質珪酸が多いという点で、また、赤灰は α -クリストバル石・硬石膏・石膏の存在および非晶質珪酸に富むという点で特徴づけられる。

VIII. 火山灰の粒度分布

長期間にわたり継続降下する火山灰中における細胞単位微粒子の相対的存在量を明らかにすることは、植物表皮の気孔閉塞や人体呼吸器管肺胞壊死の例に見るように、すでに発生した、またはこれから発生すると予想されるさまざまな悪影響の原因となるものを解明してゆく上で重要である。

1. 粒径 300μ 以下の粒度分布

(1) 試料および測定方法

火山灰の粒度分布測定は、純粹に、かつ比較的大量に採取された試料 No. 78052301, No. 77052301 および No. 741025 の黒灰 3 試料を選び、それぞれ約 52g, 40g および 20g をとり、光透過式粒度分布測定器ミクロン・フォトサイザー SKN-1000 により、粒度 300μ 以下について、第 6 表に示すミクロン間隔、水温 21°C 、分散方法ハンドミキサー 1 分の条件で、粘度 20.1、比重 1.1132 のエチレングリコールを用い、セイシン企業に委託して行なわれた。赤灰および白灰の粒度分布測定は、量僅少のため不可能であった。

(2) 測定結果

測定結果を第 6 表に、これから作成された重量累積粒度分布グラフを第 5 図に示す。測定された 3 試料共ほとんど同じ粒度分布を示し、粒径 300μ 以下の粒子中、重量累積比 95~97% は 200μ 以下、また、42~45% は粒径 60μ 以下のものによって占められる。第 5 図から、粒径 50μ 以下の粒子は、No. 78052301 および No. 741025 で 35~36%、No. 77052301 で 39% を占め、No. 77052301 は、他 2 者に比べ、微粒子部分にやや富むことが分かる。

2. 粒径 50μ 以下の粒度分布

細胞単位粒径粒子の粒度分布を知る目的で、粒径 $50.0\sim 0.0\mu$ 範囲について、さらに詳細な

Table 6. Grain-size distribution ($\phi < 300\mu$) of volcanic ashes from Sakurajima Volcano

No.	78052301		77052301		741025	
Ash	Black ash		Black ash		Black ash	
S.G.	2.48		2.46		2.39	
Micron interval	AV	AR (Wt.%)	AV	AR (Wt.%)	AV	AR (Wt.%)
0 - 10μ	0.703	3.6	0.571	3.1	0.641	3.9
10 - 20	2.127	10.9	2.247	12.3	2.342	14.3
20 - 60	8.247	42.1	8.127	44.5	7.102	43.3
60 - 100	11.127	56.8	11.007	60.2	10.062	61.4
100 - 150	15.252	77.8	15.257	83.5	13.187	80.5
150 - 200	19.102	97.4	17.532	95.9	15.637	95.4
200 - 300	19.602	100.0	18.282	100.0	16.387	100.0

S.G.: True specific gravity. AV: Accumulative value.

AR: Accumulative ratio.

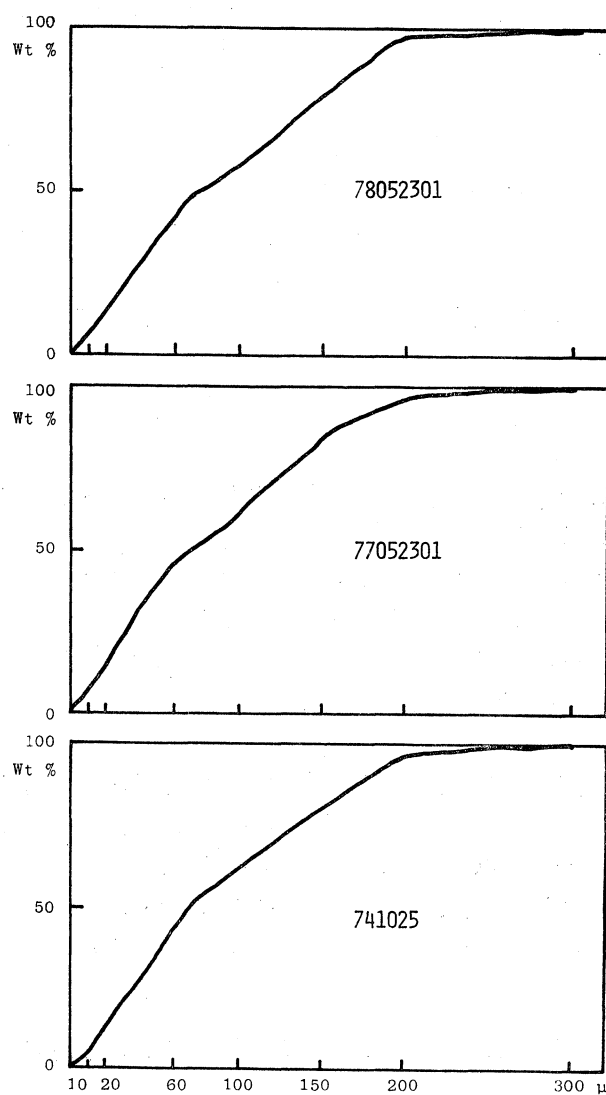


Fig. 5. Grain-size accumulation curves $\phi < 300 \mu$ for volcanic ashes from Sakurajima Volcano.

Table 7. Grain-size distribution ($\phi < 50 \mu$) of volcanic ashes from Sakurajima Volcano

No.	78052301		77052301	
Ash	Black ash		Black ash	
S.G	2.65		2.65	
Micron interval	AV	AR (Wt.%)	AV	AR (Wt.%)
0.0- 0.5 μ	0.027	0.6	0.050	1.2
0.5- 1.0	0.085	1.9	0.092	2.2
1.0- 2.0	0.192	4.3	0.233	5.6
2.0- 4.0	0.345	7.7	0.382	9.3
4.0- 5.0	0.496	11.1	0.521	12.6
5.0- 6.0	0.607	13.5	0.629	15.2
6.0-10.0	1.011	22.5	0.963	23.3
10.0-20.0	2.069	46.1	1.883	45.6
20.0-30.0	3.044	67.9	2.808	68.0
30.0-50.0	4.484	100.0	4.128	100.0

粒度分布測定を行なった。

(1) 試料および測定方法

試料 No. 78052301 および No. 77052301 の黒灰をそれぞれ 50g および 30g とり、水温 26°C、分散方法超音波 5 分、粘度 0.8737、比重 0.997 の中性洗剤水溶液を用い、粒径 50.0~0.0 μ 範囲について、第 7 表に示すミクロン間隔で粒度分布測定を行なった。測定はセイシン企業に委託した。

(2) 測定結果

測定結果を第 7 表に、これから作成された重量累積粒度分布グラフを第 6 図に示す。これによれば、植物の表皮気孔や動物の呼吸器管肺胞の大きさに相当する粒径 5.0~0.5 μ 範囲の粒子は、粒径 50 μ 以下の粒子中、重量累積比 10.5~11.4% に達することが分かる。

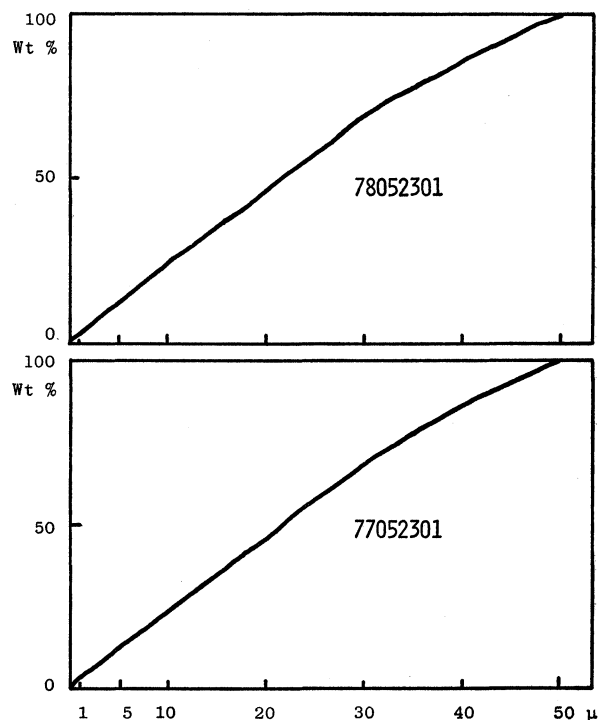


Fig. 6. Grain-size accumulation curves $\phi < 50 \mu$ for volcanic ashes from Sakurajima Volcano.

IX. 黒灰・赤灰および白灰の性状比較

黒灰・赤灰および白灰について、これまでに明らかにされてきた鉱物組成、化学組成、X線回折パターン解析結果、組成鉱物の屈折率、粒度分布および火山灰微粒子の粒度・色・形状・微構造について、相互に比較し、それぞれの特徴または相違点を整理要約すれば、次の通りである。

1. 構成物質の比較

(1) 鉱物組成の比較

試料 No. 78052301 および No. 77052301 の黒灰 2 試料は、鉱物容量比からみて、ほとんど同一の鉱物組成を有すると言える。白灰は、鉱物組成上、黒灰とはやや異なる点がある。

一方、赤灰は、造岩鉱物の量が著しく少なく、反対にマトリックス粒子の量が著しく多いという点で、黒灰および白灰とは明らかに異なる。また、X線回折パターンは、赤灰中に硬石

膏・石膏・ α -クリストバル石の存在していることを指示している。これらの事実は、赤灰が、その形成条件または噴出環境において、他の火山灰の場合とは明らかに異なるものがあったことを示している。

(2) 化学組成の比較

1974~1978年噴出の黒灰は、化学分析値からみて、全くあるいはほとんど同じ化学組成を有する。しかし、赤灰は、黒灰に比べると Fe_2O_3 に著しく富み、 FeO に著しく乏しく、また、 $\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Na}_2\text{O}$ に乏しいという点で明らかに異なっている。また、1979年噴出 No. 79083001 の、赤灰に近い黒灰と呼んだ火山灰は、 FeO に乏しく Fe_2O_3 に富むという点で黒灰とは異なり、また、白灰には、 $\text{SiO}_2\cdot\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{MgO}\cdot\text{CaO}$ などの含有量について、黒灰との違いが認められる。

2. 組成鉱物の屈折率の比較

試料 No. 78052301 および No. 77052301 の黒灰は、紫蘇輝石・斜長石およびマトリックス火山ガラスについて、ほとんどあるいは全く同一の屈折率が測定される。これに対し、赤灰は、黒灰の場合に比べ、紫蘇輝石の屈折率においてやや低く、マトリックス火山ガラスの屈折率に大きな幅のあることが認められる。また、白灰では、紫蘇輝石およびマトリックス火山ガラスについて、他の火山灰の場合に比べて、いずれも高い屈折率が測定される。この事実は、白灰を放出させたマグマの成分が、現在のマグマのそれとは異なっていたらしいことを示している。

また、黒灰および赤灰中の褐色透明火山ガラスの屈折率が、いずれもそれぞれの火山灰中のマトリックス火山ガラスのそれよりも低いこと、一方、白灰中の無色透明火山ガラスの屈折率が、マトリックス火山ガラスのそれと完全に一致することは注目される。

3. 火山灰微粒子の粒度・色・形状および微構造の比較

黒灰・赤灰および白灰を、鏡下で観察される微粒子の粒径・色・形状および微構造について比較すれば、No. 78052301 および No. 77052301 の黒灰2試料は、これらの諸点について全く同一の性状を示すのに対し、赤灰および白灰では、それぞれ特異な性状を示す。

(1) 粒 度

黒灰は、粒度分布測定および鏡下観察によれば、火山灰粒子の粒径最大 300μ で、この内 200μ 以下の粒子が圧倒的部分を占めているのに対し、赤灰では、鏡下観察によれば、粒径最大 200μ 程度で、この内 100μ 以下の粒子が大部分を占め、黒灰よりもより微細な粒子に富み、また、白灰では、 $100\sim 50\mu$ のものおよび 50μ 以下のものが多く、最も微細な粒子に富んでいる。

(2) 微粒子の色および形状

黒灰では、鏡下透過光で、無色および黄褐色の鋭角に富む不規則形状および丸みある不規則形状のマトリックス粒子が多く、これに柱状~裂片状の造岩鉱物が混在するのに対し、赤灰では、赤褐色~褐色の丸みある不規則な形状のマトリックス粒子が著しく多く認められる(第1図 D)。赤灰が、外観上、帯赤暗灰色に見えるのはこのためである。

一方、白灰の微粒子は、黒灰および赤灰の場合に比べ、鏡下で無色(透過光)または白色(反射光)の新鮮な鋭角に富む不規則裂片状、針状~柱状などの形状を呈するものが圧倒的に多い(第1図 E, F)。外観上、白灰が灰白色に見えるのは、帯色粒子が比較的少なく、極めて微細な無色~淡色(透過光)粒子が著しく多いためである。

(3) 微構造

a. マトリックス粒子の組織

黒灰中のマトリックス粒子には、しばしば hyalopilitic 組織（第1図 C）やフェルト状～流状組織を示すものが認められ、また、しばしば斑晶造岩鉱物を持つもの（第1図 B）が認められる。白灰中のマトリックス粒子には、新鮮な無色透明火山ガラスと晶子とからなるものが極めて多く観察され（第1図 E, F）、特徴的である。

b. マトリックス火山ガラス中の気泡

白灰中には、気泡を含むマトリックス火山ガラス粒子が極めて多く観察される（第1図 E, F）のに対し、黒灰および赤灰中のマトリックス火山ガラス中では、No. 78052301 の試料中でまれに認められるのみである。

c. 透明火山ガラスおよび気泡

黒灰および赤灰中では、まれに気泡を含まない褐色透明火山ガラス粒子が認められる。これに対し、白灰中では、発泡状の無色透明火山ガラス粒子が多数認められる。

d. 斑晶鉱物中の包有褐色透明火山ガラスの有無

白灰中では褐色透明火山ガラスを包有する斑晶鉱物がまれであるのに対し、黒灰中では比較的多く観察される（第1図 A）。赤灰中では、包有されていた斑晶鉱物から由来したと判断される褐色透明火山ガラス粒子がまれに認められる。

結局、微構造の観点から、黒灰は褐色透明火山ガラスを包有する斑晶鉱物および斑状組織を示すマトリックス粒子が比較的多いこと、白灰は発泡状マトリックス火山ガラスおよび無色透明火山ガラスが多いこと、また、赤灰は丸みのある赤褐色不規則形状のマトリックス粒子が多いことによって特徴づけられる。

白灰中の発泡状～非発泡無色透明火山ガラス粒子とマトリックス火山ガラス粒子とは、屈折率において全く一致し、組織において同一であることから、両者は全く同一の物質、すなわち、前者はマトリックスそれ自身であると判断される。また、黒灰および赤灰粒子中にまれに認められる褐色透明火山ガラス粒子は、本来これを包有していた斜長石その他の斑晶鉱物から由来したものと判断される。

X. 黒灰・赤灰および白灰の成因

これまでに述べてきた諸事実から、黒灰・赤灰および白灰の成因は、次ぎのように考察される。

1. 黒灰の成因

試料 No. 78052301 および No. 77052301 の黒灰は、組成鉱物の種類・容量比・屈折率、化学組成、粒度分布、X線回折パターン、火山灰粒子の色・形状・微構造等あらゆる点からみて、本質的に同一のものであると言える。

この2試料黒灰はまた、鉱物組成・化学組成および組成鉱物の屈折率からみて、1956年・1977年南岳放出火山弾および1946年昭和溶岩とほとんど同一のものあるいは非常に近いものと言える。すなわち、これらの黒灰は、まさにこれらの火山弾または溶岩を微粉粉碎したものに相当する。

以上の事実、およびこれらの火山灰粒子中に、しばしば hyalopilitic 組織で代表される組織を有し、時には斑状組織を示すマトリックス粒子が認められること、また、鋭角に富む形状のものが多くという事実は、これらの火山灰が火口から大気中に放出される以前、一度は火口底で

溶岩として冷却固化しつつあったことを物語り、火道内に蓄積されたガス圧によって、溶岩が爆砕放出されたものであると判断される。1974年噴出2試料黒灰もまた、同様に爆砕放出されたものと判断される。

2. 赤灰の成因

赤灰は、鉱物組成上、造岩鉱物が著しく少なく、酸化鉄物質を含むため赤褐色を呈する、丸みある不規則な形状のマトリックス粒子が著しく多く、化学組成上、1974~1978年噴出黒灰に比べ、 FeO に著しく乏しく、 Fe_2O_3 に著しく富み、また、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ に乏しく、また、マトリックス火山ガラスの屈折率には、他の火山灰には見られない大きな幅のあることなど、黒灰および白灰とは明らかに著しく異なる。

マトリックス火山ガラスの屈折率に大きな幅があるという事実は、赤灰が新旧火山灰の混在したものであることを思わせる。また、X線回折パターンから赤灰中に硬石膏・石膏・ α -クリストバル石の存在が確認され、非晶質珪酸が多いと判断されることは、噴出前の赤灰が、比較的高温下、水蒸気や硫酸イオンなど各種火山ガス成分に富む環境下にあったことを物語る。

また、赤灰が、黒灰に比べ、化学組成上、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ に乏しいという事実は、各種火山ガス成分に富む火口またはその周辺部で、これらの成分の溶脱の行なわれたことが考えられ、また、 Fe_2O_3 に著しく富み、 FeO に著しく乏しいという事実、および硬石膏・石膏・ α -クリストバル石が存在し、非晶質珪酸に富むという事実は、赤灰が加熱酸化を伴う変質作用をこうむったことを示している。

以上のことから、赤灰は、新しい噴出物と既存噴出物の混在した物質が、火山ガス成分に富み、加熱酸化されるという環境下、おそらく火口底で、各種成分の溶脱を伴う変質作用が進行し、火道内に蓄積されたガス圧によって再び放出されたものと説明される。

一方、1979年8月30日噴出試料 No. 79083001 の火山灰は、外見上、やや赤味を帯びた暗灰色を呈すること、また、化学組成上、黒灰の場合に比べ、明らかに Fe_2O_3 に富み FeO に乏しいものであることからみて、赤灰の噴出環境と同じか、またはそれに近い状況下で放出されたものと推定される。このことは、桜島火山南岳火口における噴煙活動が、1979年4月30日から8月18日までの期間休止状態にあったという事実によって裏づけられるかも知れない。

3. 白灰の成因

白灰は、鏡下透過光で無色の鋭角に富む不規則な形状の粒子が著しく多く、マトリックス火山ガラスや紫蘇輝石の屈折率は、他の火山灰中のものに比べてやや高く、化学組成上、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO} \cdot \text{CaO}$ などの含有量について1974~1978年噴出黒灰とは異なるところがあり、また、粒子中には発泡状マトリックス火山ガラスが著しく多く、X線回折パターンは非晶質珪酸の多いことを示しているなど、多くの点で他の火山灰とは異なる性状を示す。

これらの事実は、放出された白灰の源であるマグマの化学的性質が、1955年以降放出された火山灰のマグマとはやや異なっていたであろうこと、また、白灰は、地下のマグマ溜りからガスを含むマグマが直接火口底に導かれ、狭い火口から相対的に低温低圧の大気中に急激に押し出され、急断熱膨脹を行ない、発泡現象を伴いつつ連続放出されたものであろうことを推定させる。

XI. あとがき

活発な噴煙活動を続ける火山から放出される火山灰について、本報で取り扱われたような各

種性状に関する観察・記録・測定・分析およびデータ解析を、多面的多角的に、かつ長期間にわたって継続実施してゆくことは、各種産業・社会生活環境においてすでに発生した、またはこれから発生すると予想されるさまざまな悪影響の原因となるものを解明してゆく上で重要であり、また、放出された火山灰の形成過程・噴出環境を明らかにし、マグマの挙動・成分的変化を追跡し、火山活動の盛衰消長を考察してゆく上で重要である。

文 献

- 荒牧重雄 (1977), 始良カルデラの基盤と桜島火山の噴出物, 鹿児島県地震火山調査研究協議会, 鹿児島県の地震と火山, No.10, 105-119.
- 菅野一郎 (1961), 日本の主要土壌型の生成・分類学的研究 I, 序論および第1篇, 腐植質アロフェン土, 九州農業試験場彙報, 7, No.1, 1-185.
- 長沢隆次, 大庭 昇 (1959), 桜島昭和熔岩地帯(黒神)における噴気孔および地質構造, 鹿児島大学理科報告, No.8, 127-146.
- 大庭 昇 (1959), 桜島火山拋出物, 特に火山灰構成物質の量的変移並びに成分変化, 鹿児島大学桜島火山活動研究会昭和33年度桜島火山活動研究成果報告(要旨).
- (1972), 桜島火山昭和47年10-11月噴出褐色火山灰および黒色火山灰の質的相違について, 鹿児島県資料.
- 小坂丈予, 小沢竹二郎 (1975), 桜島火山噴出ガスの成分の観測と活動状況, 文部省自然災害特別研究, 桜島火山の総合的調査報告, 62-66.
- 種子田定勝, 森田準之助 (1958), 桜島火山1956年5月の火山弾, 岩鉱, 42, 202-203.