

桜島テフラの風化生成物

著者	SHIRAKI Koichi, TOMITA Katsutoshi
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	26
ページ	35-52
別言語のタイトル	Weathering Products of Tephra from Sakurajima Volcano
URL	http://hdl.handle.net/10232/00009989

桜島テフラの風化生成物

白木康一・富田克利¹⁾

(1993年9月10日受理)

Weathering Products of Tephra from Sakurajima Volcano

Koichi SHIRAKI and Katsutoshi TOMITA

Abstract

The authors investigated the weathering products of volcanic ashes and pumices derived from Sakurajima volcano by XRD and SEM. In the result of XRD patterns weathering products was not recognized in pumices by eruptions of 1914, 1779 and 1471-1476, but in more older pumices, 10 Å-halloysites were generally noticeable. Additionally, the amount of 10 Å-halloysite produced in tephra increases with age. It takes only about 500 years for 10 Å-halloysite to crystallize in the weathering processes.

SEM observations showed that secondary products occurred even in pumices even if it do not show existence in XRD patterns. These are considered to be allophane and amorphous materials called "precursor" of clay minerals.

Key words: 10 Å-halloysite, precursor, Sakurajima Volcano, tephra, weathering.

緒 言

桜島火山の地質および地史については、古くは本間（1935）、山口（1975）、近年ではテフロクロノロジーを用いた福山（1978）、小林（1982, 1986a, 1986b）等の研究によって明らかにされてきた。しかし、桜島火山の噴出物の風化生成物についてはこれまでに報告が少なく、吉永（1975）が、大正火山灰層（1914年噴出）と安永火山灰層（1779年噴出）についてイモゴライトが生成していることを報告している程度である。筆者らは桜島島内の各地で桜島火山のテフラを採取し、その風化生成物を鉱物学的に調べた。島内の各地で風化の状況に大きな違いは見られなかったが、そのうち観察条件の最も良かった権現山についての結果を報告する。

¹⁾ 鹿児島大学理学部地学教室 〒890 鹿児島市郡元一丁目21-35
Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-12-35 Korimoto, Kagoshima 890, Japan.

試 料

北岳東方における試料採取地点を Fig.1 に示す。権現山は北岳に寄生するデイサイト質の溶岩円頂丘で、11枚の降下軽石層とその間に挟まる火山灰層に厚く覆われている。権現山ではガリーが発達し、これらのテフラの一部を削りとって深い谷を形成している。そのような谷の側面で11枚のテフラとその間に挟在する火山灰層を観察、採取することができる。これらのテフラの記載は、小林 (1986a, 1986b) によって詳しくなされている。以後これら軽石層を上位から順に P 1, P 2 …… P 11 と呼ぶ。Fig.2 は、権現山における柱状図と試料採取位置を示す。堆積年代が古記録から分かっているもの、または年代測定で推定されているものについてはそれも示した。28個の火山灰試料と22個の降下軽石試料を採取してビニールのサンプル袋に密閉して持ち帰り実験に用いた。ここにはそれらのうち20個の試料についての結果を示す。

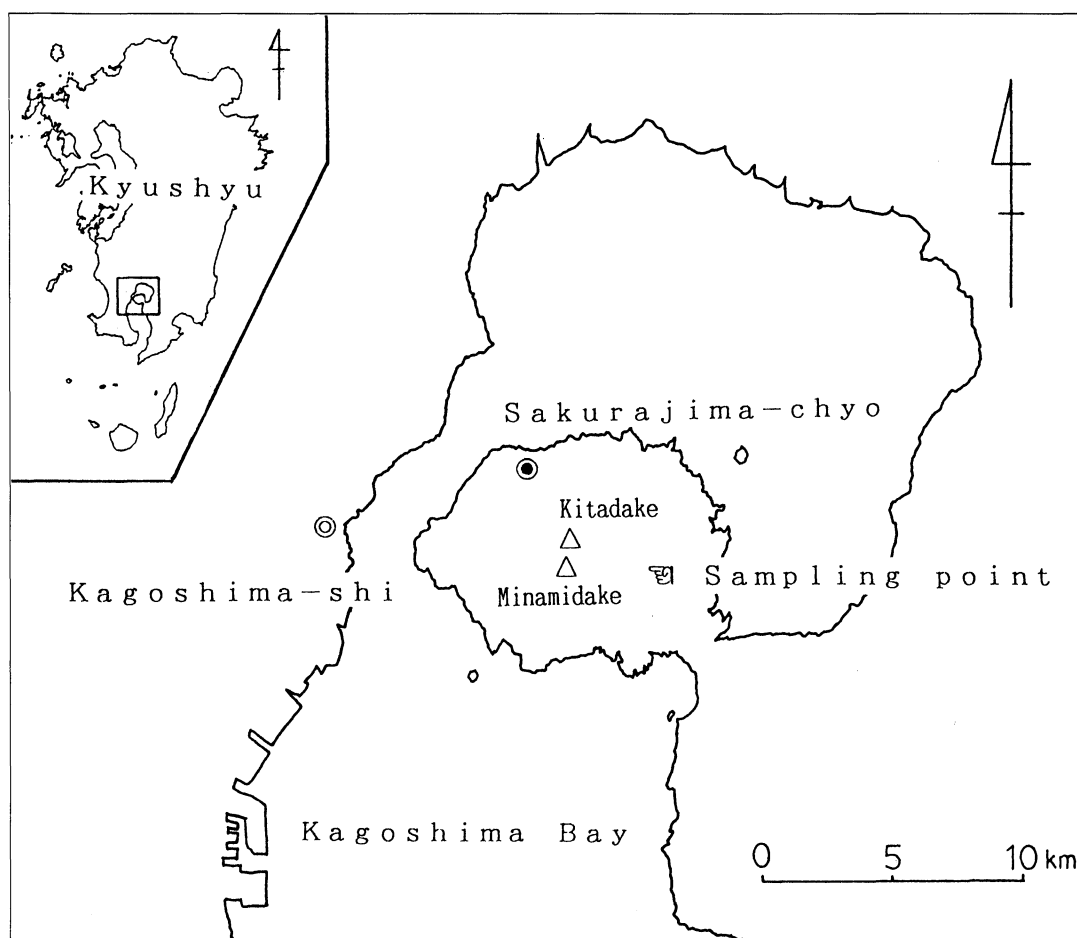


Fig. 1 Map of the sampling points at Gongenyama in Sakurajima, Kagoshima Prefecture, Japan.

実験方法

採取したサンプルは、X線回折と走査電子顕微鏡観察によって調べた。X線回折には、50個の試料についてそれぞれ原土試料と2 μ m以下の試料を用いた。原土試料は風乾した試料を瑪瑙乳鉢で指頭に感じない程度まで粉碎したものを用いた。2 μ m以下の試料を作るにあたっては、

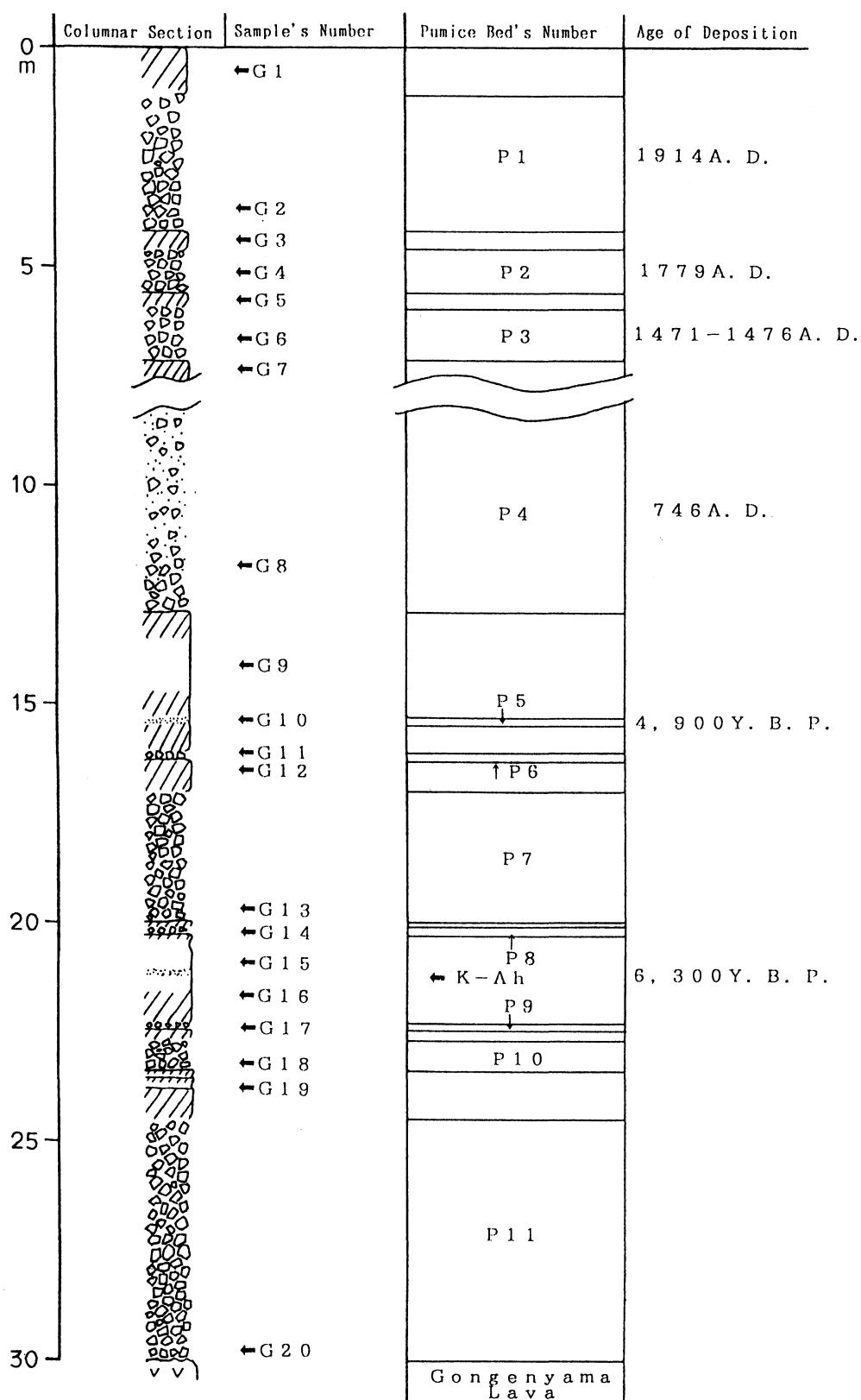


Fig. 2 Columnar section of the tephras at Gongenyama in Sakurajima.

火山灰試料は腐植土を含んで黒色を呈するものがあるため15%前後の過酸化水素水で有機物を取り除いてから水簸を行い、降下軽石の試料はステンレス乳鉢で粉碎してから水簸を行なった。このときアンモニア水を用いて pH を10に調整し、超音波洗浄機によって分散させ、水簸を行なって $2\ \mu\text{m}$ 以下の試料を得た。

X線回折に用いた機器は理学電機社製のX線発生装置D-8 C, ゴニオメーター SG-7である。実験は対陰極に Cu を用い、加速電圧30kV, 電流15mA の条件で行った。

原土試料はアルミ杵を用いて不定方位法で、 $2\ \mu\text{m}$ 以下の試料はガラス板を用い定方位法で回折パターンを得た。

走査電子顕微鏡観察は、5個の降下軽石の試料について行った。用いた機種は、JEOL の JSM-25 II で15kV の加速電圧で観察および写真撮影を行った。

実験結果

X線回折パターンによって認められる鉱物を Table 1 に示した。また、原土試料のX線回折

Table 1 List of minerals identified in bulk samples and fractions $<2\ \mu\text{m}$.

Sample Number	Minerals						Description of Samples
	Fd	Tr	Cr	10-Ha	Gy	He	
G1	○	△	○	-	-	-	Volcanic Ash
G2	○	-	-	-	-	-	P1 (1914A.D.)
G3	○	○	○	-	-	-	Volcanic Ash
G4	○	-	-	-	-	-	P2 (1779A.D.)
G5	○	-	-	-	○	-	Volcanic Ash
G6	○	-	-	-	-	-	P3 (1471-1476A.D.)
G7	○	△	○	△	-	○	Volcanic Ash
G8	○	-	△	○	-	-	P4 (746A.D.)
G9	○	△	△	○	-	-	Volcanic Ash
G10	○	-	-	○	-	-	P5 (4,900Y.B.P.)
G11	○	-	-	○	-	-	P6
G12	○	○	○	○	-	-	Volcanic Ash
G13	○	-	-	○	-	-	P7
G14	○	-	△	○	-	-	P8
G15	○	○	○	○	-	-	Volcanic Ash
G16	○	○	△	○	-	-	Volcanic Ash
G17	○	-	△	○	-	-	P9
G18	○	-	-	○	-	-	P10
G19	○	△	○	○	-	-	Volcanic Ash
G20	○	-	-	○	-	-	P11

Fd : feldspar

Tr : tridymite

Cr : cristobalite

10 Å - Ha : 10 Å - halloysite

Gy : gypsum

He : hemihydrate

○ : distinctly noticeable

△ : slightly noticeable

- : unrecognized

パターンを Fig. 3 ~ Fig. 6 に, $2\text{ }\mu\text{m}$ 以下の試料の X 線回折パターンを Fig. 7 と Fig. 8 に示した. X 線回折パターンには斜長石, クリソバル石, 鱗珪石, 石膏, 半水石膏, $10\text{ }\text{\AA}$ ハロイサイトのピークが認められる. 斜長石はすべての試料中に斑晶鉱物として含まれ, 顕著なピークを示す. クリソバル石, 鱗珪石は軽石中にはみられず, 比較的下位の火山灰層中に顕著に見られる. 石膏は G 5 の火山灰中にのみ, 半水石膏は G 7 の火山灰中にのみ見られる (Fig. 7). クリソバル石, 鱗珪石, 石膏, 半水石膏の起源については, テフラ堆積後の風化生成物である可能性と, テフラ堆積時に既に含まれていた可能性とがある. これらの起源については後に考察する. $10\text{ }\text{\AA}$ ハロイサイトは明らかに風化生成物であり P 3 軽石直下の火山灰層 (G 7) 以下に生成している. $2\text{ }\mu\text{m}$ 以下の試料の X 線回折パターンを見ると, 古いテフラのほうがハロイサイトのピークは大きくなる傾向があり, 古いテフラの方がより多くのハロイサイトが生じていることが定性的にいえる. また 2θ が 23° 付近の幅広い高まりと, 低角度での基線の上昇は非晶質物質の存在を示している.

電子顕微鏡による観察は 5 個の軽石試料について行った. 火山灰試料は細粒物質と腐植土を多く含むものがあって, 風化生成物の形状を観察しにくい. 軽石試料は腐植土も含まず空隙も多いので風化生成物の形状を観察しやすい. そこで軽石のガラス表面について観察したところ, 噴出年代によって風化生成物の生じ方に相当の変化が見られた.

Fig. 9 (a) ~ (d), Fig. 10 (a) ~ (c) は, P 1 軽石のガラス表面の風化生成物を示す. Fig. 10 (a) の束状の結晶は, TOMITA *et al.* (1985) の報告と比較して形態的な特徴から石膏であろうと思われるが, 量が少ないため X 線回折では同定できなかった. 他の写真では, ガラス表面に不定形の被膜状のものがへばりついているのがみられるが, この試料の X 線回折ではハロイサイトのピークは現れないため, ガラスの水和によって生じたゲル状の物質か, アロフェンやイモゴライトのような非晶質粘土鉱物の集合体であると考えられる. Fig. 9 (d) をみると, 数百 nm 程度の厚さを持った被膜のように見える. ガラス表面を一様に覆っているのではなく部分的に付着している. 形態は様々で, Fig. 9 (a) ~ (d) は不定形であるが, Fig. 10 (c) を見ると斑状の分布が見られる.

Fig. 10 (d), Fig. 11 (a), (b) に, P 2 軽石の風化生成物の SEM 写真を示した. Fig. 10 (d) の柱状の結晶は形態から石膏と考えられる. Fig. 11 (a), (b) を見ると半球状の粒子が多数ガラス表面に付着している. この試料中にも X 線回折ではハロイサイトのピークは認められないが, 前述のゲル状物質に比較して規則的な形態であり, 球状のハロイサイトへの結晶化がより進んだものかもしれない.

Fig. 11 (c), (d) は, P 3 軽石の風化生成物である. いずれもガラス表面を厚く覆った沈着物が見られる. X 線回折ではハロイサイトのピークは認められないが, (c) には, 球状の粒子も見られ, このようなものはハロイサイト化している可能性もある.

Fig. 12 (a) ~ (d) に, P 7 軽石 (G 13) の風化生成物の SEM 写真を示した. この試料の X 線回折パターンを見るとハロイサイトのピークが現れており, SEM 写真に見られるような, 直径 $1\text{ }\mu\text{m}$ 足らずのガラス表面の微小な粒子はハロイサイト粒子である. このような粒子は, この試料において普遍的に観察され, ガラス表面のあらゆる風化面に付着しているが見られる. Fig. 12 (a) ~ (c) では, それに加えて長さ $10\text{ }\mu\text{m}$ を超える柱状の, あるいはそれらが集まったような束状の結晶が観察される. これらも形態的な特徴から石膏の結晶と考えられるが, X 線回折では石膏のピークが現れないのではっきりしたことは言えない. この結晶はガラス表面のハロイサイト粒子の上を覆っているものが多い. 石膏の表面はハロイサイト粒子が付着していないものが多いが, 一部にはハロイサイト粒子におおわれているものが見られる. Fig. 12 (d) にはハロイ

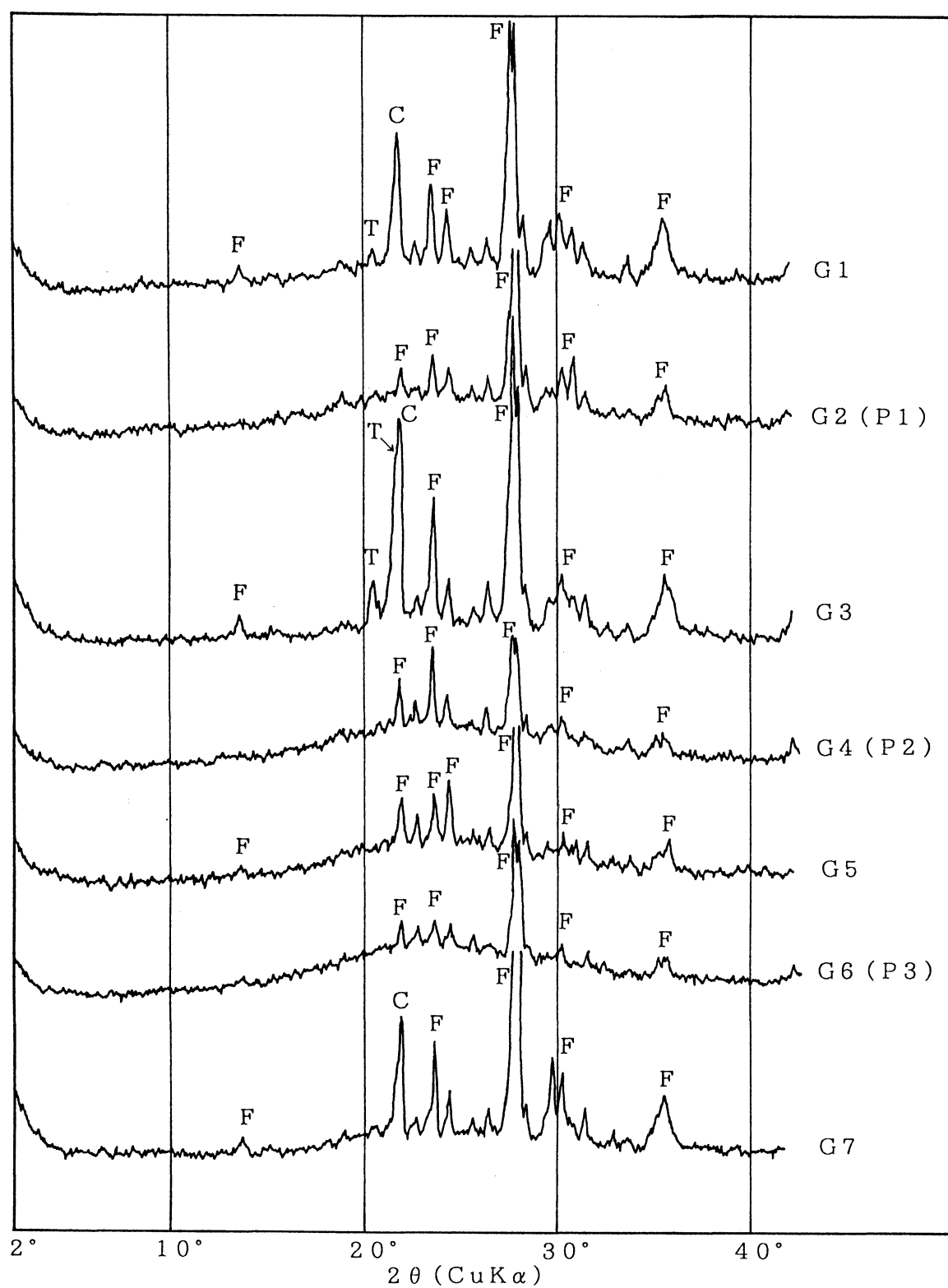


Fig. 3 XRD patterns for bulk samples, G1-G7.
 F: feldspar T: tridymite C: cristobalite

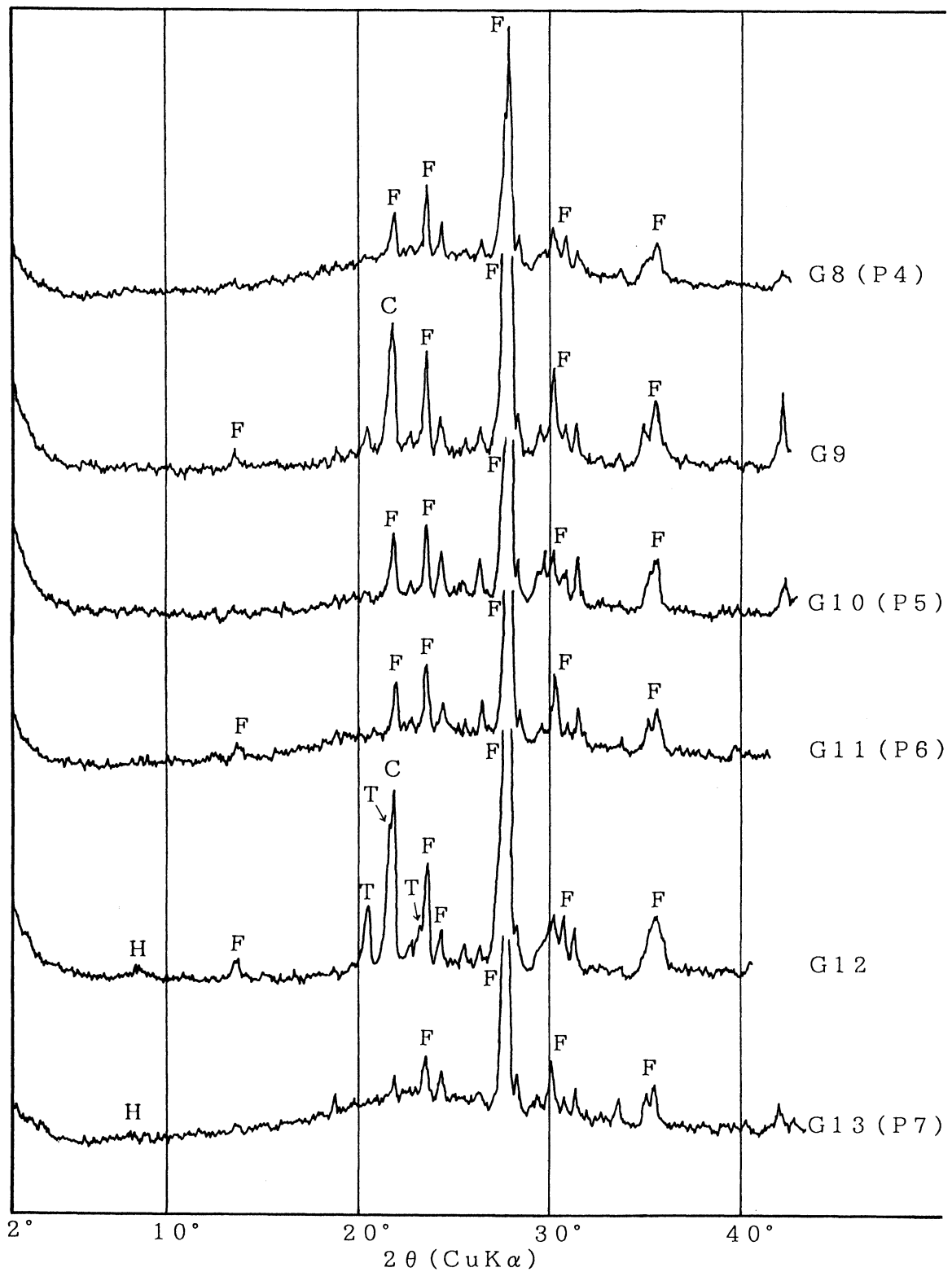


Fig. 4 XRD patterns for bulk samples, G8-G13.

F: feldspar H: 10 Å-halloysite
T: tridymite C: cristobalite

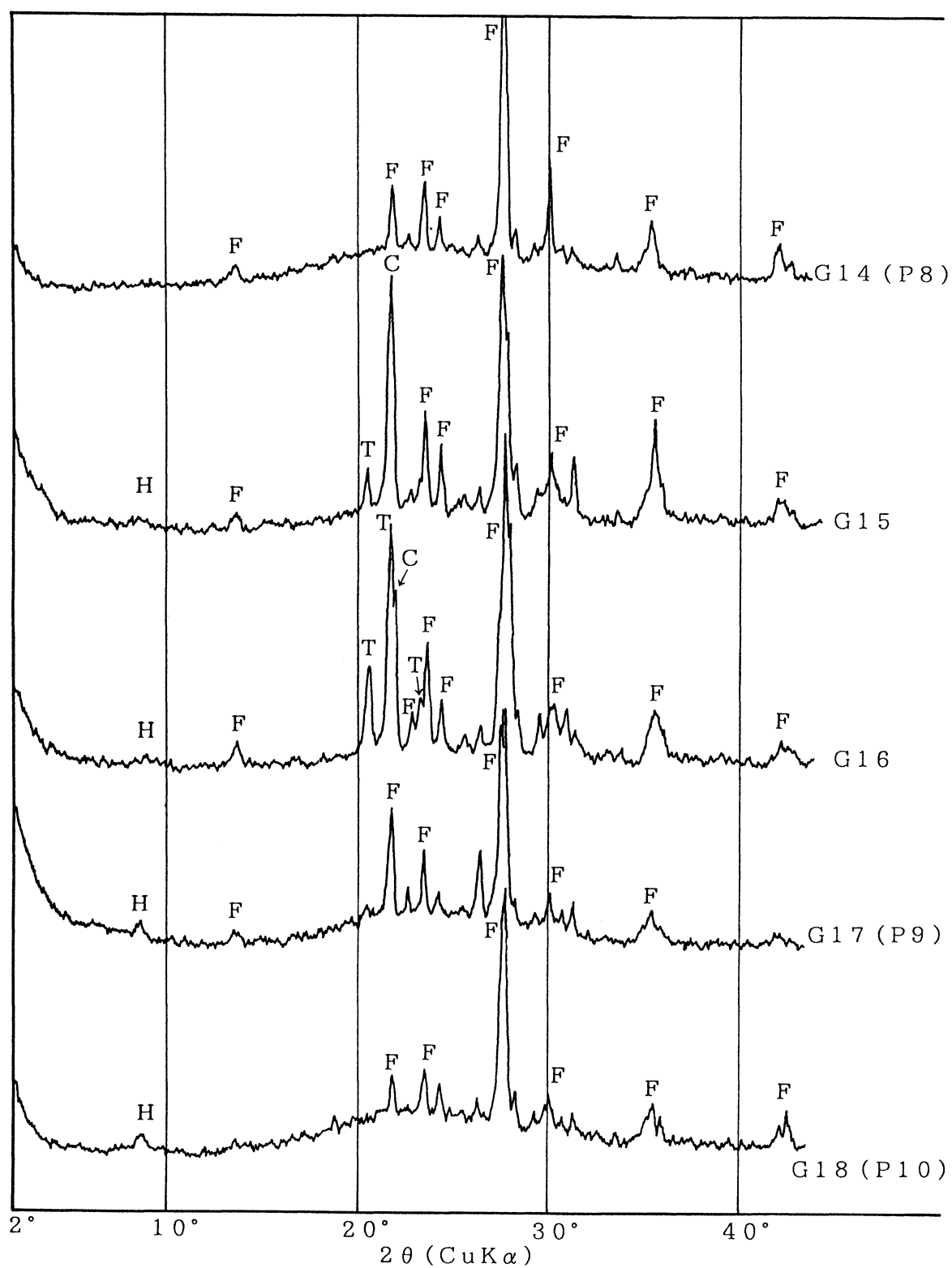


Fig. 5 XRD patterns for bulk samples, G14-G18.

F: feldspar H: 10 Å-halloysite
T: tridymite C: cristobalite

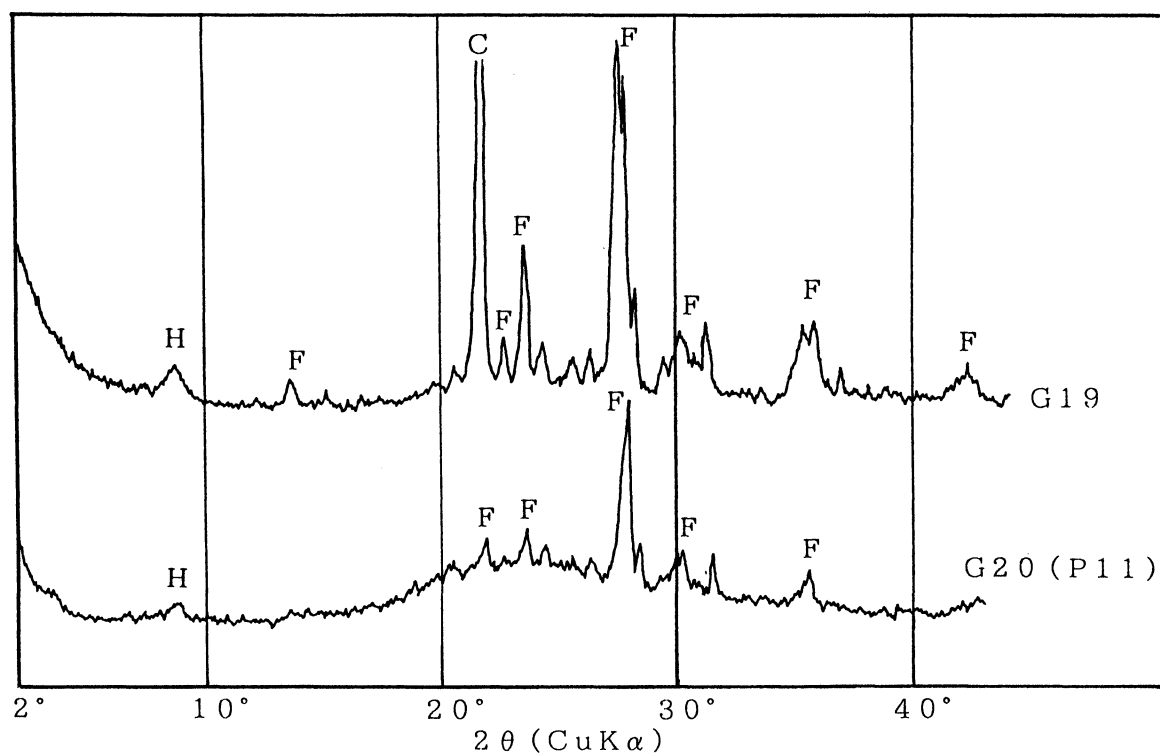


Fig. 6 XRD patterns for bulk samples, G19 and G20.

F: feldspar H: 10 Å-halloysite
 T: tridymite C: cristobalite

サイト粒子の集合体と思われるものが見られ、薄板状の形態に移行しつつあるように見える。

Fig. 13(a)～(d)は、P11軽石の風化生成物のSEM写真である。これにも多数のハロイサイト粒子と長柱状の結晶が見られる。ハロイサイト粒子の大きさはやはり1 μm 足らずであるが、隙間がないほどに付着していてP7軽石よりも風化が進んでいるといえる。このことは、X線回折の結果と調和的である。Fig. 13(a)には、斑晶鉱物の表面に付着したハロイサイト粒子と長柱状の結晶が見られる。Fig. 13(b)は、その一部を拡大したものである。斑晶鉱物の表面は一面ハロイサイト粒子に覆われ、さらにその上に束状の結晶が付着している。(c), (d)は、ハロイサイト粒子がおびただしくガラス表面を覆っている。

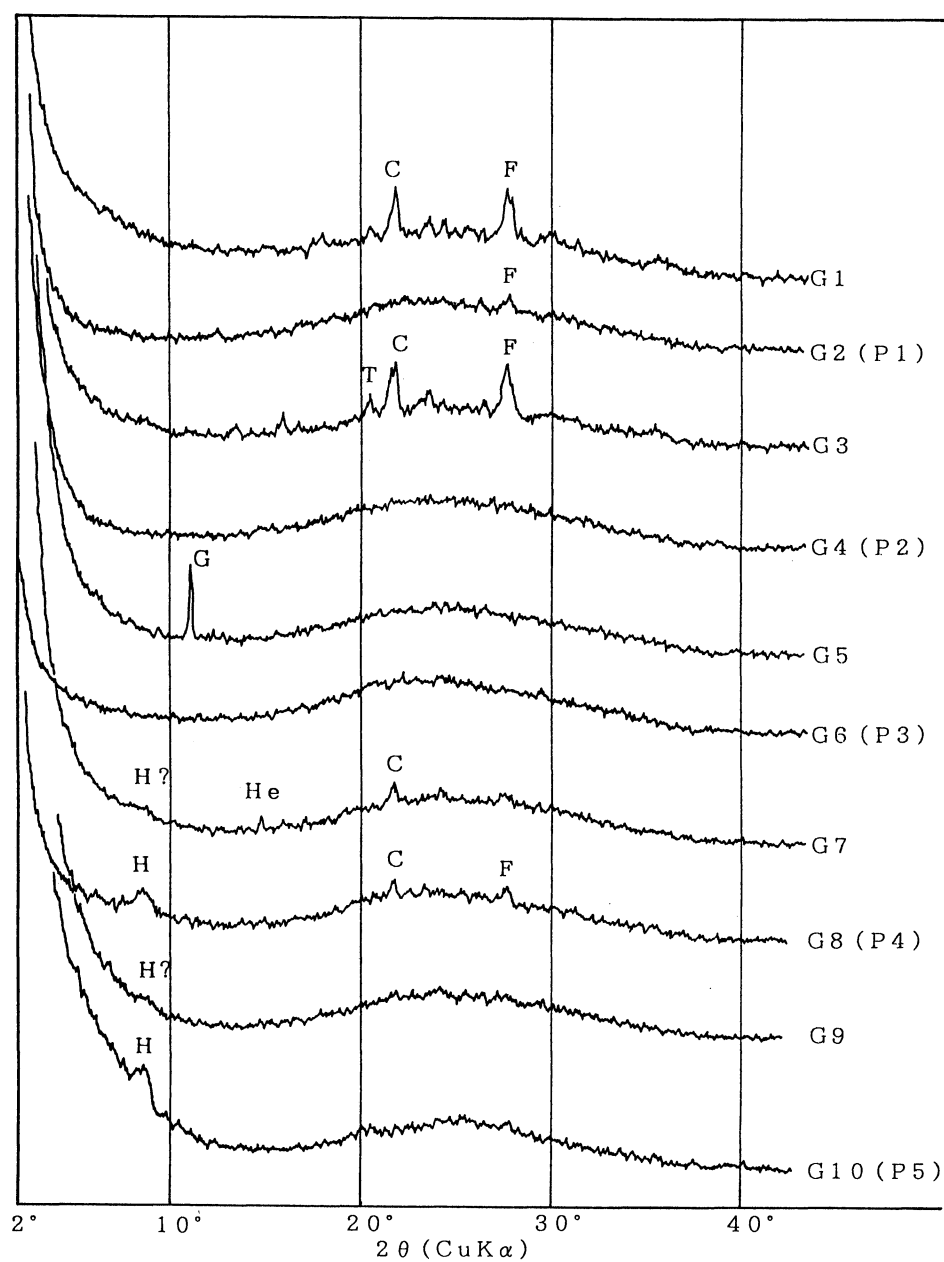


Fig. 7 XRD patterns for $<2\mu\text{m}$ fractions of samples, G1-G10.

F: feldspar	H: 10 Å-halloysite
T: tridymite	G: gypsum
C: cristobalite	He: hemihydrate

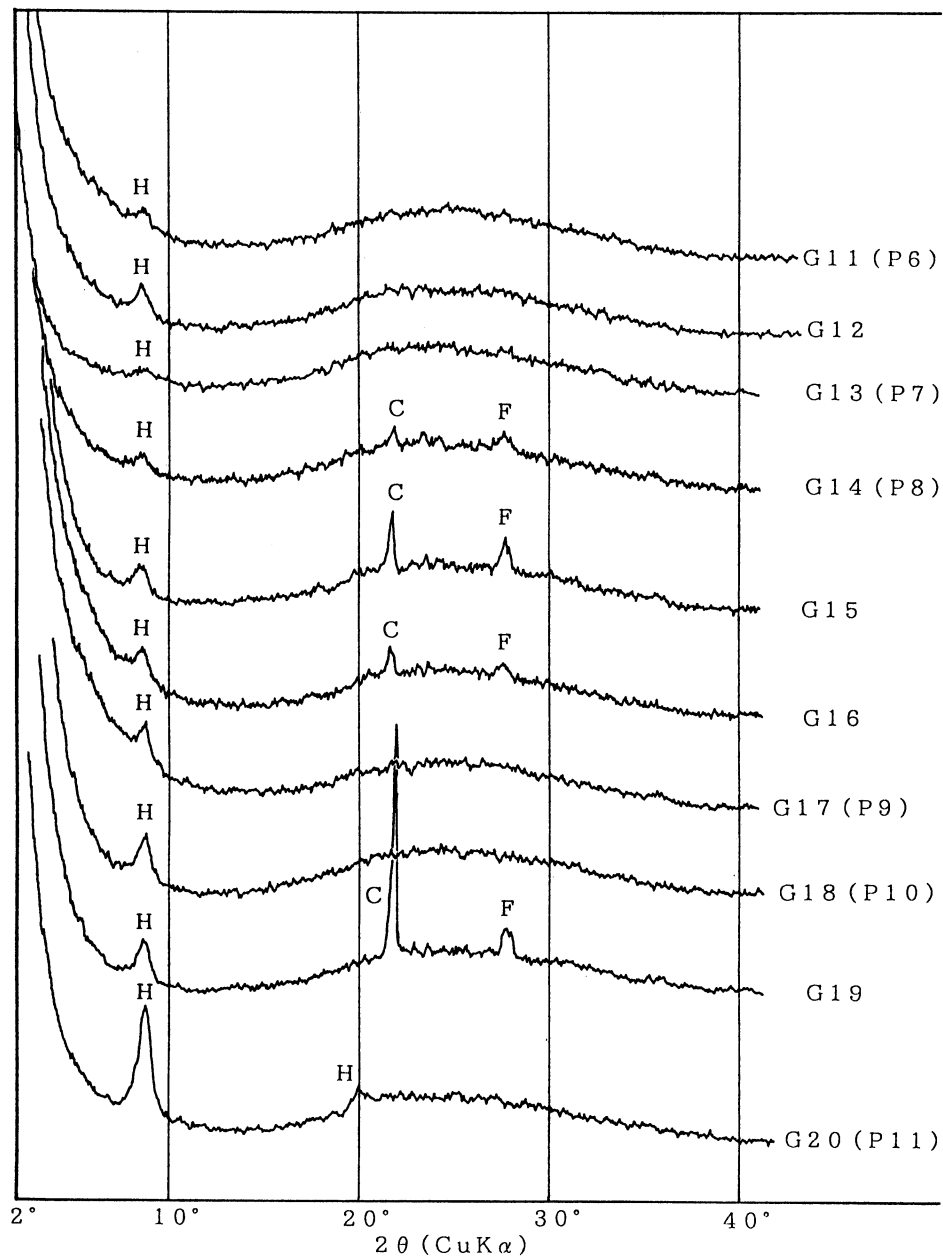


Fig. 8 XRD patterns for $<2\mu\text{m}$ fractions of samples, G11-G20.
 F: feldspar H: 10 Å-halloysite
 C: cristobalite

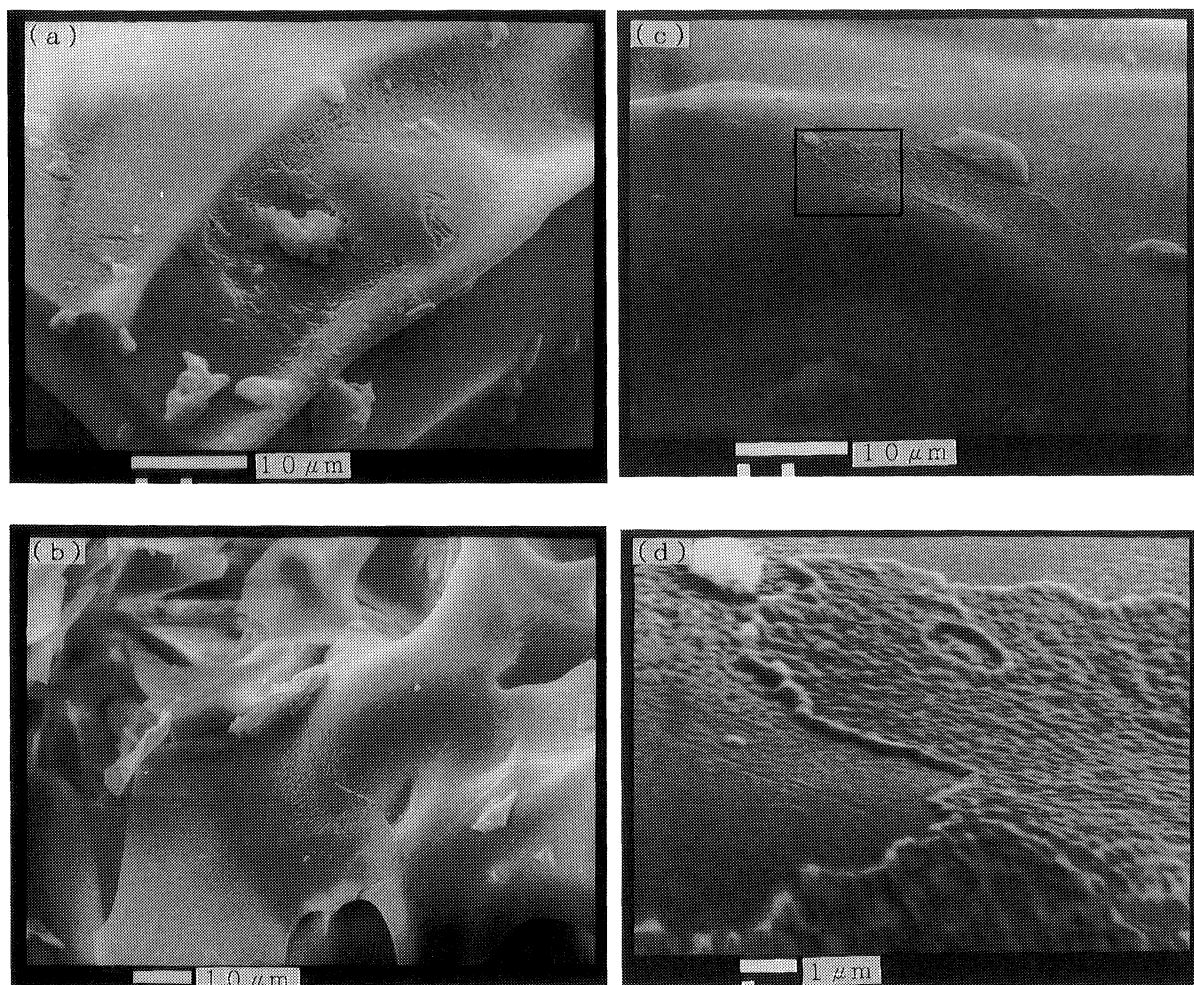


Fig. 9 Scanning electron micrographs of weathering products on volcanic glass surface of pumice as shown in sample number G2 (P1).
(a), (b), and (c): Amorphous coatings on glass surface of P1 pumice.
(d): Enlarged view of part of (c).

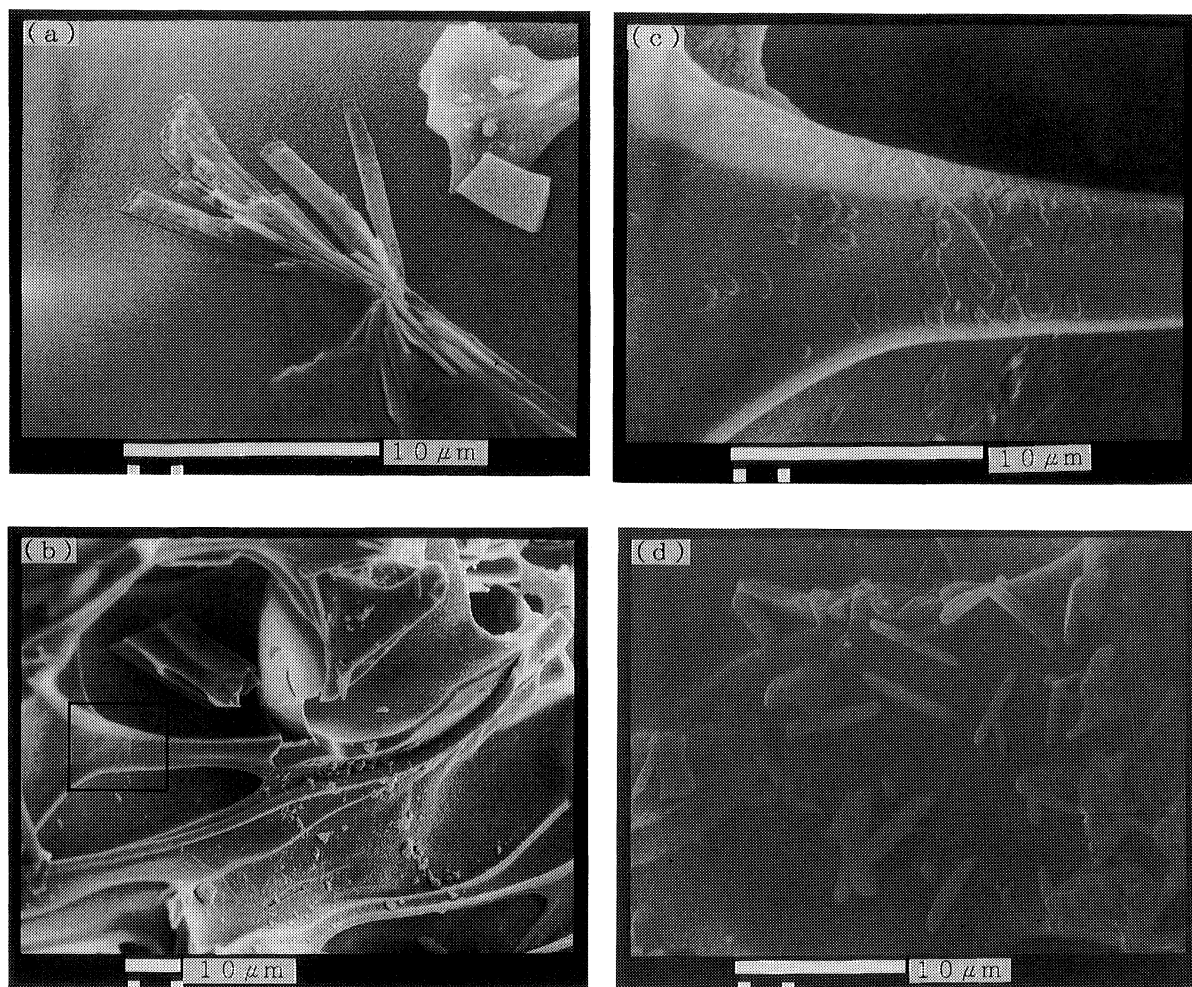


Fig. 10 Scanning electron micrographs of weathering products on volcanic glass surface of pumice as shown in sample number G2 (P1) and G4 (P2).

(a): A bundle-shaped crystal on volcanic glass surface of sample G2 (P1).

(b): Weathering products of sample G2 (P1).

(c): Enlarged view of (b), showing amorphous coatings like patches.

(d): Crystal-like long pillars observed in G4 (P2).

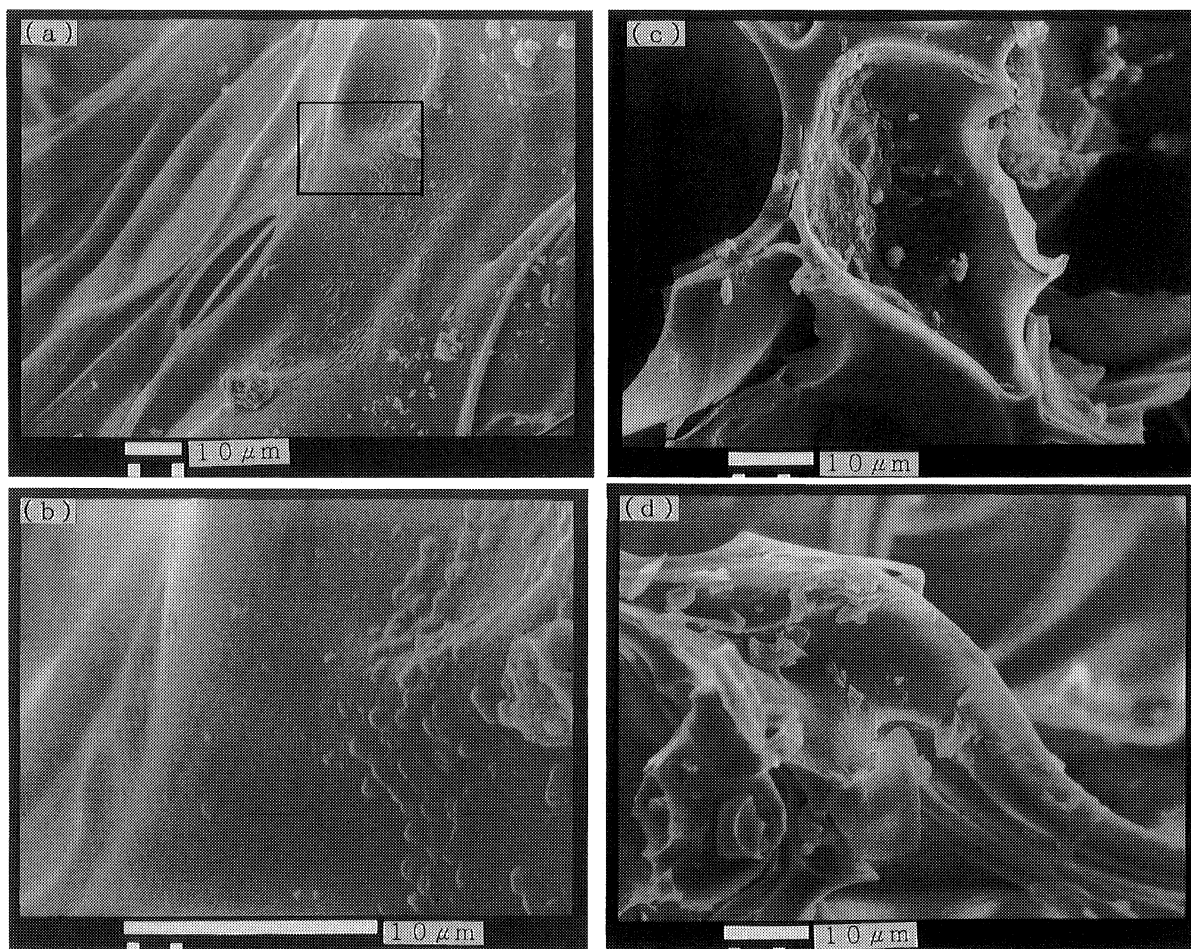


Fig. 11 Scanning electron micrographs of weathering products on volcanic glass surface of pumice samples with sample number G4 (P2) and G6 (P3).
(a): Amorphous coatings on halloysites observed in G4 (P2).
(b): Enlarged view of (a) showing hemispherical shaped weathering products.
(c) and (d): Weathering products of G6 (P3).

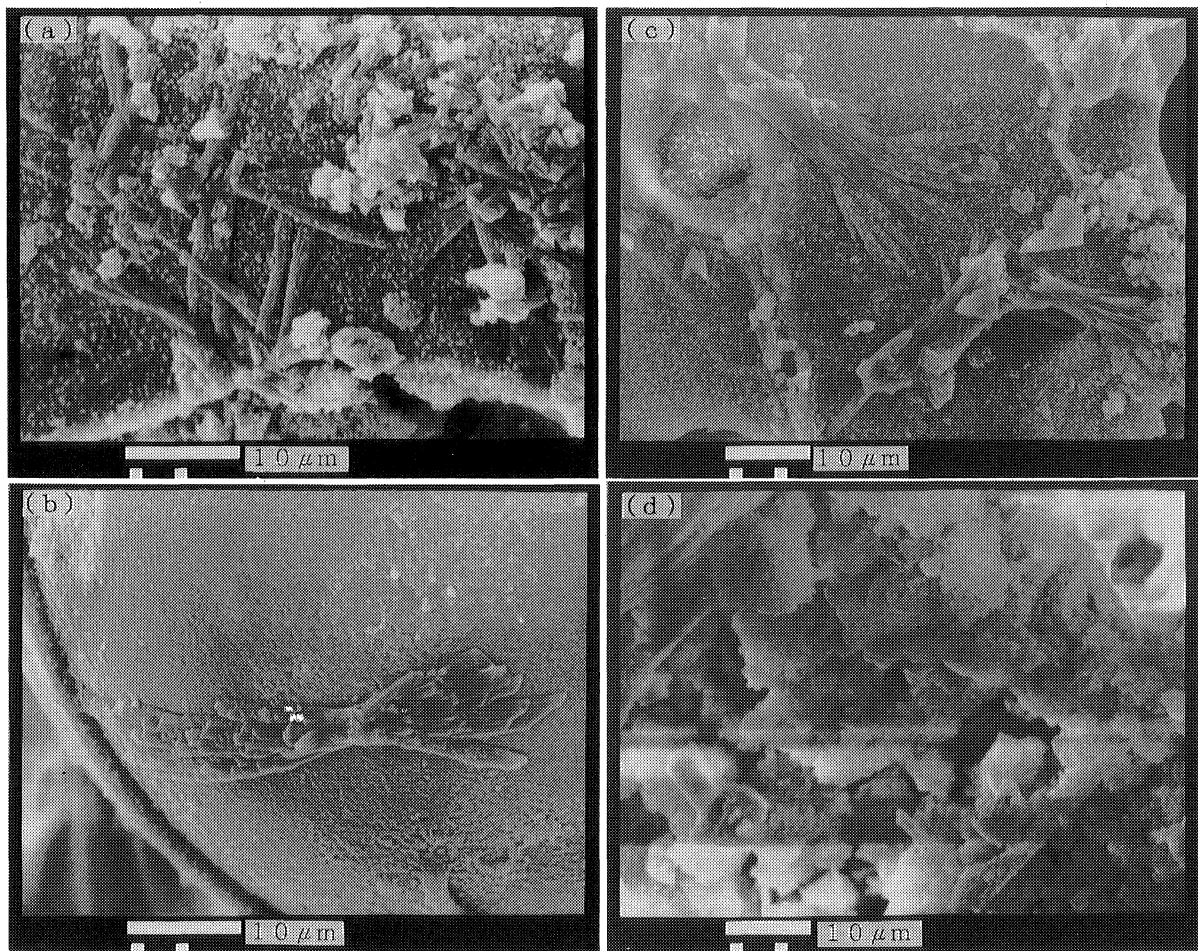


Fig. 12 Scanning electron micrographs of weathering products on volcanic glass surface of pumice as shown in G13 (P7).

- (a): Halloysites and long pillar-like crystals on glass surface.
- (b): Halloysites and bundled crystals on spherical surface of volcanic glass.
- (c): Halloysites and bundled crystals.
- (d): Hallosite aggregates.

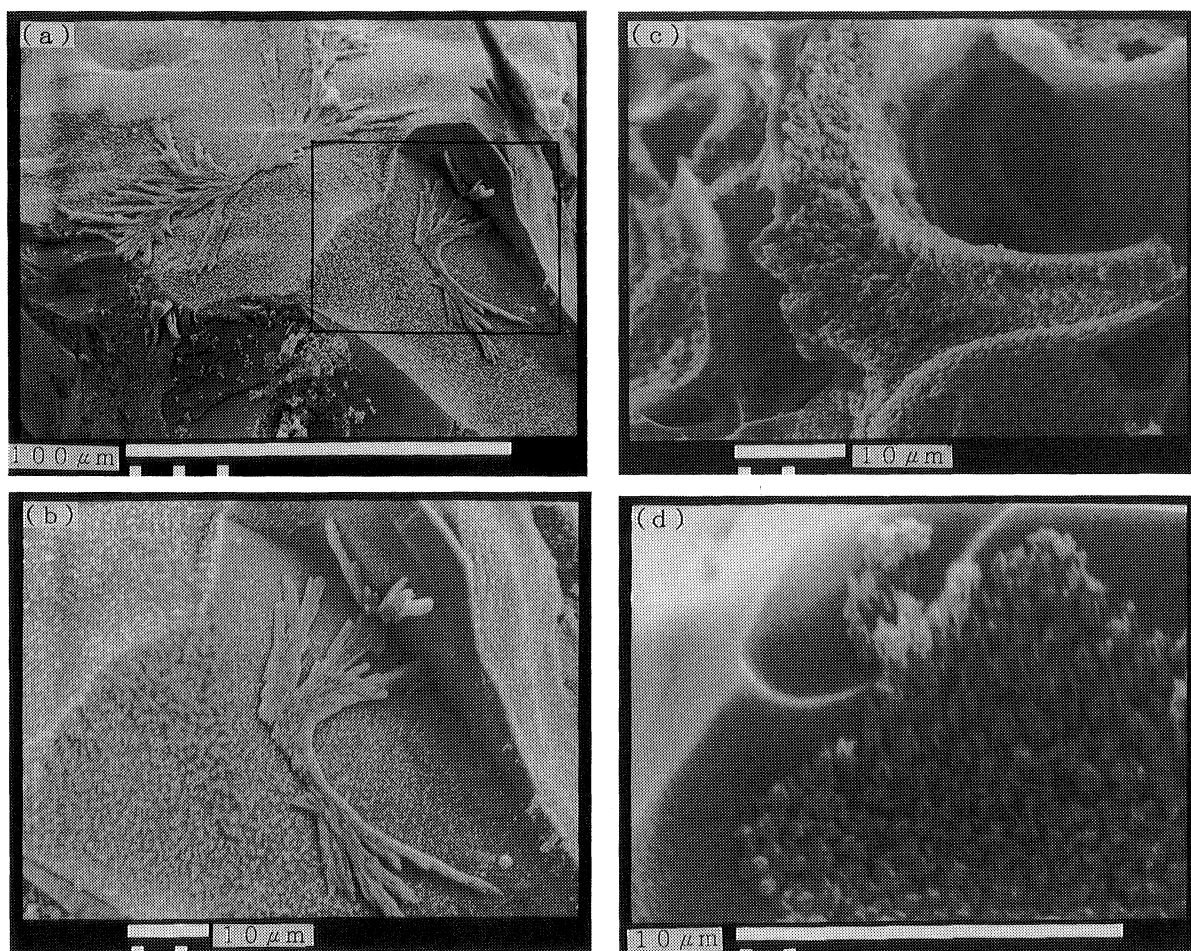


Fig. 13 Scanning electron micrographs of weathering products on volcanic glass surface of pumice as shown in sample G20 (P11).

(a): Halloysites and bundled crystals on phenocryst of pumice.

(b): High-magnification view of (a).

(c) and (d): Halloysite grains on volcanic glass surface.

考 察

X線回折パターンは、クリストバル石、鱗珪石が火山灰層中には含まれているが軽石中にはほとんど含まれていないことを示している。しかも、下位の火山灰層ほど多量に含んでいるように見える。大庭・他(1980a, 1980b等), Oba *et al.* (1984) は、現在の桜島の断続的なブルカノ式噴火のもたらす火山灰について鉱物学的研究を行った。それによると、黒灰は火道内で固結した新鮮な岩石が爆発によって粉碎されて生ずるとされ、斜長石、普通輝石、紫蘇輝石を含む。また、赤灰は、噴火の休止期に火口付近で熱水条件下にさらされ変質した物質が、活動の再開によって放出されるもので、斜長石、普通輝石、紫蘇輝石に加えて、石膏、クリストバル石、鱗珪石等の熱水変質による生成物を含む。火山灰試料中のクリストバル石、鱗珪石、石膏の起源についてはこの赤灰によってもたらされたとして説明できるが、下位の火山灰層ほど多量に含むことは、これらの鉱物が埋没していく課程で二次的に成長していることを示唆しているのではないだろうか。岡田・他(1986) は、土壌中の間隙水の SiO_2 濃度は地表から深いほど高くなることを示しており、ある程度深いところでは SiO_2 に飽和した間隙水も生じる可能性がある。常温常圧に近い条件下でのシリカ鉱物の結晶化についての可能性を考えなくてはならない。しかし、この可能性について議論するための十分なデータは今のところない。

石膏は、X線回折ではごく一部の火山灰層中にしか認められなかったが、SEM による観察では、軽石のガラス表面に石膏と思われる長柱状あるいは束状の結晶を観察できる。EDX 等で分析しなければ確かなことは言えないとしても二次的に石膏が生じることは十分考えられる。TOMITA *et al.* (1985) は、新鮮な火山灰を湿らせると数分で石膏の結晶が生じることを報告している。火山灰層を通過した浸透水が硫酸を含んで軽石層に達しそこで石膏を沈澱させることが考えられる。これらの長柱状の結晶には、ハロイサイト粒子の上に覆いかぶさっているものと、逆にハロイサイト粒子に覆われているものがあり、このことは、ハロイサイトの生成以前に生じた結晶もあればハロイサイトの生成後に生じた結晶もあることを示している。よって、この結晶を生じた過程は風化過程の初期から現在に至るまでの間作用して続けていると思われる。

ハロイサイトは、La Iglesia and Martin-Vivaldi (1975) によって常温で合成されており適当な濃度の溶液中では数十日で生成する。天然においても適当な濃度の溶液さえ生じれば短期間で生成してもおかしくない。実際に今回の調査で、権現山ではP 3 軽石直下の火山灰層にハロイサイトが認められ、またここにデータは挙げなかったが権現山北東の園山においてはP 3 軽石の下部にハロイサイトが見られた。つまりテフラ堆積後500年程度でハロイサイトが生成していることになる。これはX線回折のデータで見た場合であり、走査電子顕微鏡で微視的に見たときはさらに若いテフラ中にもハロイサイトらしき粒子が観察される。

P 1, P 2, P 3 の軽石中はX線回折によっては風化生成物を認めることはできないが、走査電顕によってガラス表面の付着物を見ることができる。KAWANO and TOMITA (1992) は、火山ガラスを熱水条件下に置いたときガラス表面にアロフェンと非晶質物質の皮膜が生じ、これが粘土鉱物の前駆体であるとしている。今回観察したものもおそらくこのようなものであると思われる。

桜島テフラの風化生成物についてX線回折、走査電子顕微鏡によって調べたが、古いテフラほど風化の程度が増加するという一般的な傾向は見られたものの微視的レベルでの鉱物の同定が十分でなく、風化の進行に連れてどのような物質が現れるのかという風化系列まで議論できなかった。しかし、火山ガラスから粘土鉱物が生成する前駆体と思われる皮膜がガラス表面に形成され

ているのは SEM 観察で認められた。今後透過型電子顕微鏡や EDX 等を用いて同定を進める予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、鹿児島大学農学部河野元治助手には有益なご助言を頂いた。厚くお礼申し上げます。

文 献

- 福山博之, 1978. 桜島火山の地質. 地質学雑誌, 84, 309-316.
- 本間不二夫, 1935. 日本火山誌「桜島」. 火山, 2, 226-296.
- Kawano, M. and Tomita, K. 1992. Formation of allophane and beidellite during hydrothermal alteration of volcanic glass below 200°C. *Clays and Clay Minerals*, 40, 6, 666-674.
- 小林哲夫, 1982. 桜島火山の地質: これまでの研究の成果と今後の課題. 火山, 第2集, 27, 277-292.
- , 1986a. 桜島火山の断続的噴火によって形成された火山灰層. 鹿大南科研資料センター報告特別号, 第1号, 1-12.
- , 1986b. 桜島火山の形成史と火砕流. 文部省科学研究費特別研究, 計画研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流(火砕流等)の特質と災害」(代表者 荒巻重雄)報告書(1986), 137-163.
- La Iglesia, A. and Martin-Vivaldi, J. L. 1975. Synthesis of kaolinite by homogeneous precipitation at room temperature. *Clay Minerals*, 10, 339-405.
- 岡田 清・小坂丈予・松井久仁雄・鈴木正紀, 1986. 日本各地のテフラの風化変質に影響する諸因子について. 鉱物学雑誌, 17, 特別号, 25-33.
- 大庭 昇・富田克利・山本温彦・大迫暢光・井ノ上幸造, 1980a. 桜島火山の黒灰・赤灰・白灰の性状と成因. 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), no. 13, 11-27.
- ・———・———・———・———, 1980b. 桜島火山の鉱物組成, 化学組成および形成機構. 岩石鉱物鉱床学会誌, 75, no. 10, 329-336.
- Oba, N., Tomita, K., Yamamoto, M., Inoue, K., Nakamura, T., Ishii, T. and Kobayashi, S. 1984. Mechanism of the formation of volcanic ashes from Sakurajima Volcano, Japan, and its influences to the environments. *Rep. Fac. Sci., Kagoshima Univ. (Earth Sci. and Biol.)*, no. 17, 1-22.
- Tomita, K., Kanai, T., Kobayashi, T., and Oba, N. 1985. Accretionary lapilli formed by the eruption of Sakurajima Volcano. *J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 80, 49-54.
- 山口鎌次, 1975. 桜島火山の研究, 128pp. 日本地学教育会.
- 吉永長則, 1975. イモゴライトの分布と生成について. 粘土科学, 15, nos. 3・4, 65-69.