

雲仙火山1990～94年の火山活動に伴う火山灰水溶性物質

Water-soluble materials on volcanic ash from the 1990-94 eruption of the Unzen volcano

赤木誠司 (Seishi Akagi)¹⁾

山本雅弘 (Masahiro Yamamoto)²⁾

Water-soluble materials on volcanic ash from the Unzen volcano collected from February, 1991 to July, 1994 were chemically analyzed. They were similar in chemical characteristics to those obtained from other volcanoes. Chemical compositions varied even for materials from the same pyroclastic flow. Cl contents increased with increasing residence time of volcanic ash in air, but SO₄ contents were almost fixed. It therefore seems that the reaction of volcanic ash with HCl proceeds even at low temperatures, whereas the reaction with SO₂ takes place only at high temperatures.

Keywords: volcanic ash, volcanic gas, Unzen volcano, Cl/SO₄ ratio, water-soluble material

1. 序

火山灰水溶性物質は、火山ガス中のHClやSO₂等の酸性ガスが共存する火山灰と反応して生成したものと考えられている。従ってClやSO₄等の陰イオン成分は本質的に火山ガス起源であると考えられることから、それらの組成を火山ガスの組成や放出量の推定に用いる試みが行われている。

野口ほか(1962)は浅間火山火口付近で採取した火山灰について水溶性成分を分析し、ClとSO₄の間に正の相関があることを示した。Taylor and Stoiber (1973)は中央アメリカの6火山から採取した火山灰の水溶性成分を分析し、それらが噴火中に火山ガスから火山灰に吸着されたこと、及びその組成が火山ガスの組成あるいは火山ガス凝縮水の組成と類似していることを示した。

小坂ほか(1984)は桜島火山において、火山灰水溶性物質のCl/SO₄比が共存する火山ガスのHCl/SO₂比を反映することを示した。彼らはまた、火山灰水溶性物質のCl/SO₄比、アルカリ溶液に吸収された火山ガスのHCl/SO₂比、大気中のHClとSO₂濃度の自動連続観測による火山ガスのHCl/SO₂比の変化が、桜島火山の活動の推移と対応していることを示した。

一般に火山ガスの組成は、その温度に強く依存す

ることが知られており(Iwasaki et al., 1966)、火山ガス中のHClとSO₂含有量の変化、特にその比HCl/SO₂は火山活動の変化の指標になると考えられる。そこで、火山灰水溶性物質の組成から火山ガスの組成を推定し火山活動の推移を考察する試みが、上述の桜島火山のほかにもいくつかの火山で行われている。この方法は新鮮な火山灰の採取が可能であれば火山ガスの組成を簡便に推定するという利点がある。しかし間接的な方法であるため、火山ガスの組成以外の条件によって火山灰水溶性物質の組成が左右される可能性を考慮する必要がある。そこで火山灰水溶性物質の化学的特徴を明らかにすることは、それを火山ガスの組成の推定に用いる上でも重要であると考えられる。

雲仙火山は1990年11月17日に約200年ぶりに噴火活動を再開し、以後今日までその活動を続けている。この間、1991年5月20日には地獄跡火口に熔岩ドームが出現し、その成長と崩落による火砕流の発生が続いている。本研究はこのような1990年以降の雲仙火山の活動により放出された火山灰の水溶性物質を分析し、その化学的特徴を議論する。

2. 試料採取及び分析方法

本研究で用いた火山灰試料の採取地点は図1に示される。分析に用いる火山灰は雨水や土壌からの汚染を防ぐため、降灰中あるいは降灰直後の乾燥した新鮮な火山灰を地表に落ちる前に採取した。

1) 岡山大学大学院自然科学研究科

〒700 岡山市津島中3 1-1

2) 岡山大学理学部地球科学科

〒700 岡山市津島中3 1-1

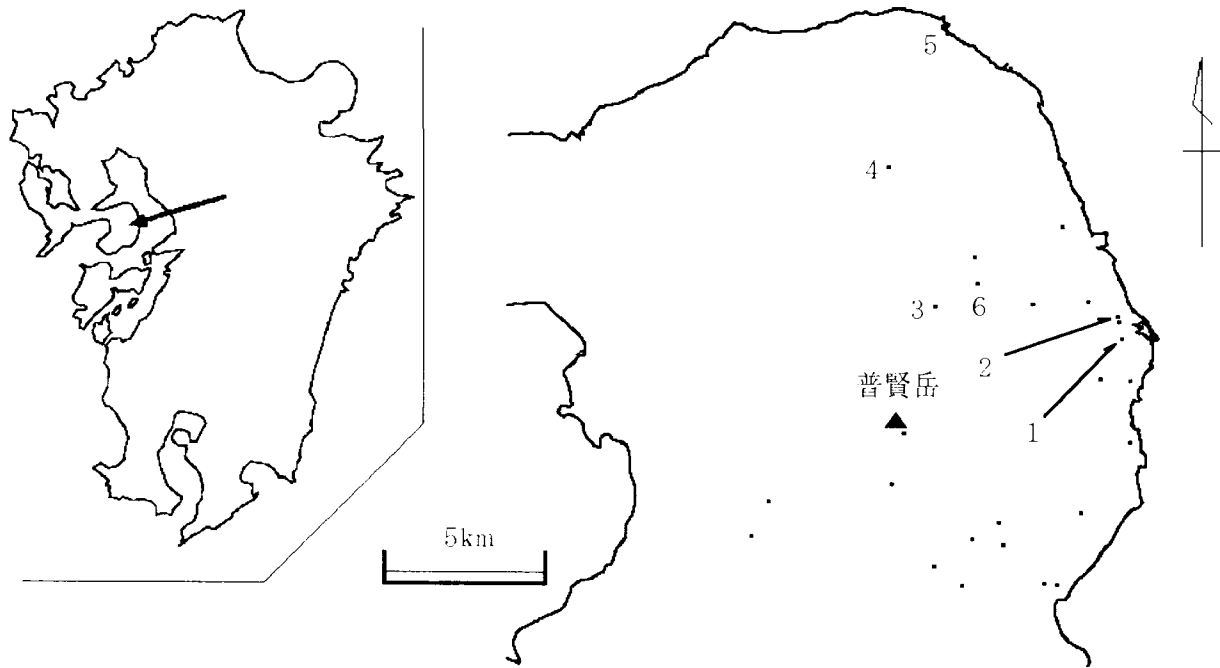


図1 試料採取地点。1: 島原市浄源寺; 2: 島原市城内2丁目; 3: 研修センター;
4: 国見町小ヶ倉; 5: 国見町多比良; 6: 島原市広高野町

火山灰試料は約1.8gを水20mlに浸し、約80℃に加温したホットプレート上で24時間放置後ろ過し、25mlの定容としたものを分析に用いた。pHはガラス電極pHメーターで測定し、各成分は陰イオン (F, Cl, NO₂, NO₃, SO₄) はイオンクロマトグラフィー、Na、Kは炎光光度法、Ca、Mgはプラズマ発光分光分析法で定量した。各成分の量は、火山灰1kgに対する量をmgで表す。また、成分比はモル比で表す。

3. 火山灰水溶性物質の特徴

雲仙火山の活動は1991年5月20日の熔岩ドームの出現を境としてそれ以前は水蒸気爆発の期間、それ以後は熔岩ドームが成長し、その崩落により火砕流が多発した期間であり、活動の様相は大きく異なる。火山灰水溶性物質の特徴にもそれを境にして変化が見られる。分析結果を付録に示す。また分析された各成分のうち、本質的に火山ガス起源と考えられるF、Cl、SO₄の変化を図2に、Cl/SO₄比の変化を図3に示す。熔岩ドーム出現前の試料は3試料とその数は少なく、陰イオンの分析しか行っていないが、次のような特徴があげられる。各陰イオン成分の量はClは358~510mg/kg、SO₄は3490~7530mg/kgであり、特にSO₄の量が多くなっている。このためCl/SO₄比は0.135~0.358と比較的低い値を示している。この時期の火山活動は水蒸気爆発であり、以上のような火山灰水溶性物質の特徴は、1979年の木曾御岳火山(小坂ほか、1983)など、過去に水蒸気爆発を起こした他の火山で得られているものと一致する。一般に水蒸気爆発による噴出物は石膏、硬石膏、黄鉄鉱

などの火山性二次鉱物や、モンモリロナイトなどの粘土鉱物を含む。それらの鉱物は火山体内にその存在が考えられる火山性熱水系において生成され、水蒸気爆発の際にはそのような変質を受けた山体物質が放出されることが考えられる。雲仙火山においても水蒸気爆発の期間にみられる多量のSO₄はそのような石膏や硬石膏に由来するものと思われる。

熔岩ドーム出現後はその期間がすでに3年半以上に及ぶ長期であり、試料数も100以上に上っている。これら全ての特徴を一言で表すことはできないが、概して次のような特徴があげられる。陰イオン成分の量はClは13~1630mg/kg、SO₄は64~3350mg/kgで非常に変化に富むが、多くはClが50~300mg/kg、SO₄が100~300mg/kgの範囲であり、特にSO₄の量が激減している。このためCl/SO₄比は0.251~12.8の値を示し、前の期間に較べ大きな値を示す。また、他の陰イオン成分として、Fはその測定を行った全ての試料で1.5~49.2mg/kgの範囲で存在し、NO₂及びNO₃が検出された試料も多い。一方陽イオン成分はNaが80~432mg/kg、Kが7.4~174mg/kg、Caが9.2~1010mg/kg、Mgが2.0~225mg/kgであり、これらも変化に富む。また、これらの試料溶液のpHは4.71~7.75でほとんどのものはほぼ中性であり、よってFeやAlは多量に存在しているとは考えられず、実際にいくつかの試料で測定した結果検出限界以下であった。

前述のように、この期間は地表に達した熔岩が熔岩ドームを形成し、その崩落により火砕流が多発した時期である。火山灰の起源も水蒸気爆発の期間の変質した山体物質から、火砕流起源の変質を受けて

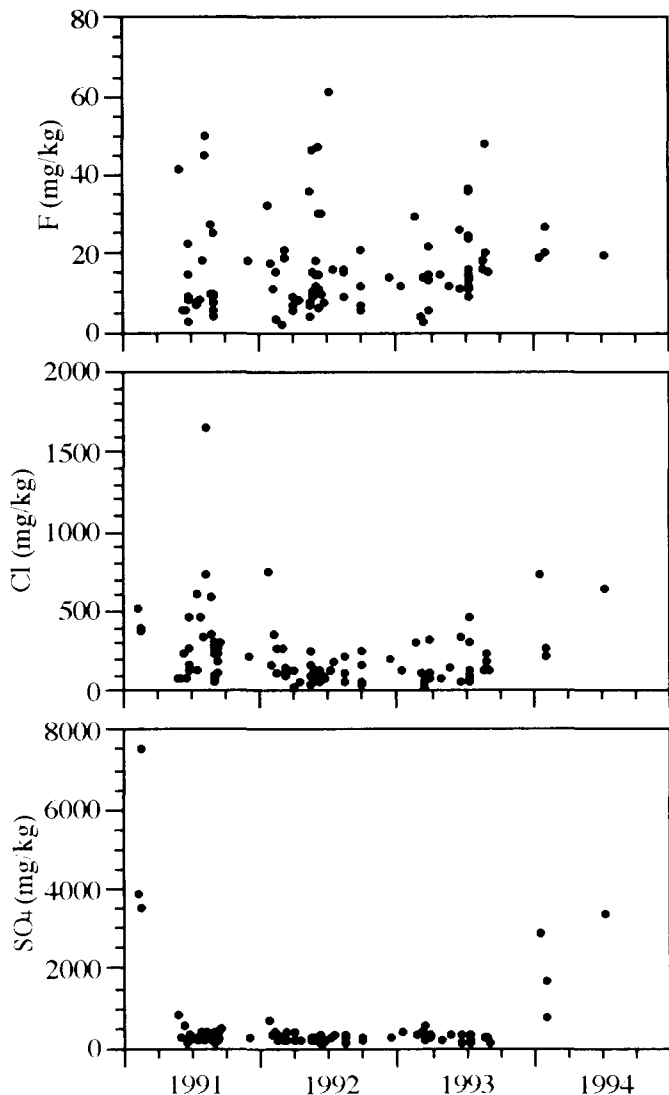


図2 F, Cl, SO₄ の変化

いない新鮮な熔岩へと変化したと思われる。SO₄の量はこのような火山灰の起源の変化を受け、変質した山体物質の影響を受けなくなったため減少したものと考えられる。同時にCl/SO₄比は高温熔岩に由来する高温型の火山ガスの組成を反映するようになり、その値が大きくなったと考えられる。

Cl/SO₄比は熔岩ドーム出現以後急速に大きくなり、1991年7、8月に最大で12.8と特に大きな値を示し、同年9月以降はほぼ1~4のレベルで推移している(図3)。このような変化は1977~1978年の有珠火山の噴火時に得られた火山灰水溶性物質のCl/SO₄比の変化(近堂ほか, 1979)と類似している。これら2つの火山活動の間にはデイサイト質マグマの上昇により、熔岩ドームあるいは潜在ドームを形成するという共通点がみられ、そのような火山活動を通じ同様なCl/SO₄比の変化を示すことは、火山活動の推移と火山ガス組成との関係を考える上で興味深い事実である。

1994年に入ってから試料はSO₄が702~3350mg/kgと再び多くなっている。これらのSO₄は、

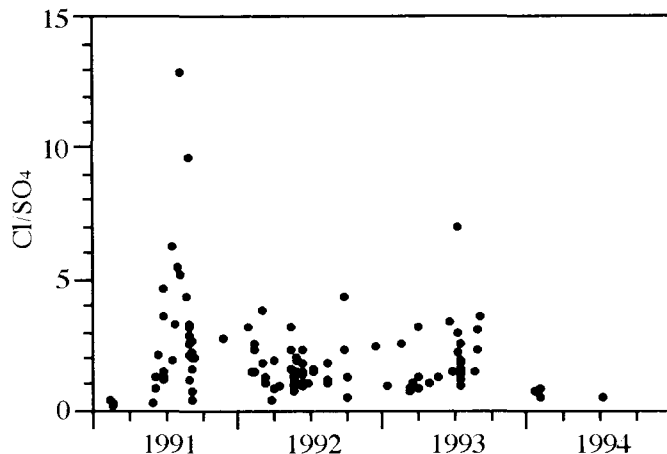


図3 Cl/SO₄ 比の変化

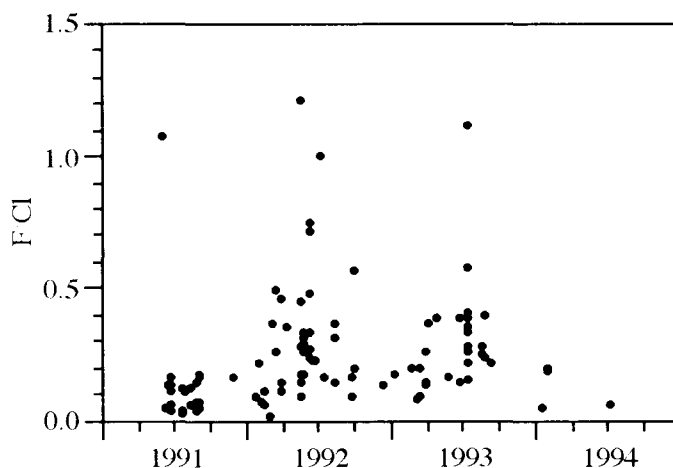


図4 F/Cl 比の変化

熔岩ドーム表面に生成した石膏あるいは硬石膏由来すると考えられる。その理由として、陽イオン成分ではCaが特に多いこと、火砕流の発生が少なくなったことがあげられる。石膏や硬石膏はいわゆる火山昇華物として噴気孔周辺に一般的にみられる鉱物であり、熔岩ドーム表面に生成することは容易に想像がつく。一方、火砕流の発生が少なくなったことにより、それまでは頻繁に更新されていた熔岩ドーム表面があまり更新されなくなり、長時間にわたって石膏や硬石膏が蓄積されたことが考えられる。そのため、時折起きる火砕流起源の火山灰に多くの石膏や硬石膏が含まれると考えられる。

熔岩ドーム出現以後の試料は、その直後である1991年5月27日の試料を除く全てにFが含まれる。これらのFは火山ガス中に含まれるHFがその起源と考えられる。噴気孔ガス中のHF含有量は一般にガスの温度が高くなるほど多くなり、HF/HCl比は噴気孔温度と正の相関を示すことが知られている(Yoshida, 1990)。従って火山灰水溶性物質のF/Cl比が火山ガスのHF/HCl比を反映するなら、その値が大きいほど共存していた火山ガスは高温型の組成を持っていたことが考えられる。火山灰水溶性物質のF/Cl比の変

化を図4に示す。これまでの期間、F/Cl比は0.011~1.21の値を示し、変化に富む。また、1992年半ばと1993年半ばに大きな値を示しているように思われる。吉田(1975)による実験では、HFは岩石と反応するときその過半が不溶性化合物を形成し、反応温度が低下すると水溶性化合物の割合が大きくなること示される。また、HFはHClに較べ相対的に多く岩石と反応するため、気相のHF/HCl比は小さくなること示される。これらのことから火山灰水溶性物質のF/Cl比は反応条件により変化し、反応が進行するにつれて火山ガスのHF/HCl比も変化すると考えられる。よって図4にみられるような火山灰水溶性物質のF/Cl比が火山ガスのHF/HCl比に対応しているかは、現在のところ不明である。火山灰水溶性物質中のFの存在はこれまでに1973年の浅間火山(小坂ほか、1984)、1977~1978年の有珠火山(松尾ほか、1977)、そして1959年より活動を続けている桜島火山(平林、1982)に報告されている。そのいずれもが高温マグマの活動に由来する、本質物質を伴う活動によるものである。このことは、火山灰水溶性物質中にFが存在すること自体が高温マグマの活動に由来する火山活動であることを示唆する。

NO_x は火山ガス中に主要成分としては存在せず、過去の火山灰水溶性物質の分析にも NO_2 や NO_3 の存在は報告されていない。この点から多くの試料に NO_2 や NO_3 が含まれることも、このたびの雲仙岳火山活動による火山灰水溶性物質の特徴であろう。その起源として、

- (1) 火山ガス中の NO_x
- (2) 火山昇華物にみられる NH_4Cl の酸化
- (3) 地表からの汚染
- (4) 産業活動起源(排気ガスなど)による汚染

が考えられる。このうち(1)については、山頂熔岩ドーム付近の高温噴気孔から採取した火山ガス凝縮水中の NO_2 濃度は5.7mg/lであり、Clや SO_4 に較べ極少量である。よって火山ガス中の NO_x は極微量であると思われるため、主たる要因にはなり得ないであろう。

(2)については、火山灰の起源となる物質中の NH_4Cl の有無など明らかにしなければならないことがあり、現時点では判断できない。また(4)については、火山灰の採取場所が市街地や幹線道路付近であればその可能性は否定できない。しかし、過去に観測例がないことが検出されていないことを意味するならば、(2)、(4)が NO_2 や NO_3 の起源であることに對し否定的な材料となる。(3)については、ほとんどの火山灰試料は火砕流起源であることから、地表の有機物や降水に汚染された過去の火砕流堆積物を巻き込んでいるものと思われる。従って現時点では(3)が NO_2 や NO_3 の起源である可能性が高いと考えられる。

陽イオン成分は火山ガス組成の面からみると火山灰起源の二次的な成分と考えられる。火山灰の組成

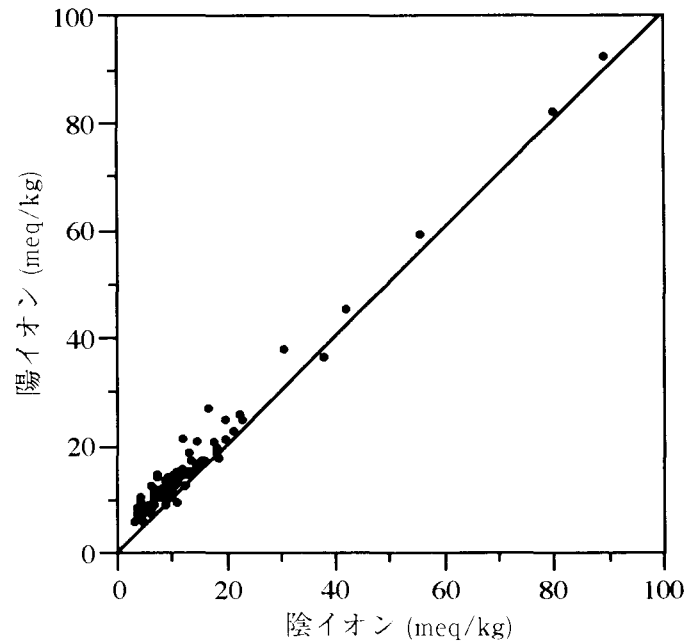


図5 火山灰水溶性物質の電荷バランス

表1 繰り返し処理を行った試料の電荷バランス

試料	陽イオン	陰イオン	陽イオン/陰イオン
A-1	9.26	7.57	1.69
A-2	2.92	0.05	2.87
A-3	2.67	0.03	2.64
B-1	8.66	5.95	2.71
B-2	2.88	0.09	2.79
B-3	2.13	0.08	2.05

(meq/kg)

は基本的にはほぼ一定であると考えられることから、陽イオン成分の組成は火山灰水溶性物質の生成条件を反映すると思われる。図5は火山灰水溶性物質の陰イオン成分と陽イオン成分の量を電荷等量で較べている。陰イオンと陽イオンはほぼ1:1で対応しているが、全体的に若干陽イオンが過剰であることが示される。このアンバランスは炭酸イオンに起因すると考えられる。処理を行う際に使用する蒸留水には炭酸が含まれており、また処理中にも空気から二酸化炭素を吸収すると思われる。表1は2つの試料について火山灰から水溶性物質を抽出する処理を3回繰り返して行ったものの陽イオンと陰イオンの量を示す。1回目の抽出はいわゆる火山灰水溶性物質の分析結果であり、過剰な陽イオンは1.7~2.7meq/kgである。ところが2回目以降の抽出では陰イオンはほとんど検出されなくなるのに対し、陽イオンはかなりの量が検出される。このため過剰な陽イオンは2回目以降も2.1~2.9meq/kg存在する。この値はこれまでに

分析した全試料の過剰な陽イオンの平均値2.66meq/kgにはほぼ匹敵する。このことは、過剰な陽イオンは処理を行う際に火山灰から溶出してくることを示唆する。

4. 火山灰水溶性物質の組成の変動

これまでに分析された試料は、時間的、空間的に接近している試料でも組成にかなりの変動がある。例えば1991年6月27日に採取された4試料は、採取場所が同じ島原市浄源寺(図1、1)の2試料はよく似た組成であり、Cl/SO₄比もそれぞれ1.20と1.43と近い値を示しているが、そこから少し離れた島原市城内2丁目(図1、2)で採取されたものはCl/SO₄比は4.64であり、浄源寺の試料の3倍以上の値を示す。また、1991年7月22日に島原市城内2丁目で採取された2試料は同日に同じ場所で採取されたにも関わらず、Cl/SO₄比がそれぞれ1.87と6.15であり、3倍以上の差が存在する。このような組成の変動が火山ガスと火山灰が反応するときの条件に由来するなら、反応条件による火山灰水溶性物質の組成の変動を明らかにすることは、そのCl/SO₄比を火山ガスのHCl/SO₂比に応用することに際し重要な意味を持つであろう。そこで以下のようなサンプリングを行い、火山灰水溶性物質の組成の変化について考察した。

火山ガスと火山灰との反応は主として火山灰が地表に降下してくるまでの大気中を滞留している間に起きると考えられる。そこで、滞空距離の異なる火

山灰試料を得るため、1993年3月30日午後に起きた火砕流による火山灰について、九州地区国立大学合同研修センター(以下研修センター、図1、3)、国見町小ヶ倉(以下小ヶ倉、図1、4)、同多比良(以下多比良、図1、5)の3地点で採取した。これらの試料は、火山ガスの組成の差を除外するため、同一火砕流起源のものである。その分析結果を表2に示す。実際には火山灰は火砕流で発生したものであるため、その発生場所は地獄跡火口ではなく火砕流の流路に沿った発生域であるが、火砕流の流下距離、方向と火山灰の採取地点との地理的關係から、滞空距離についての相対的關係には影響しないと思われる。分析結果から火山灰の滞空距離と火山灰水溶性物質の組成との間に次のような関係がみられる。Clの量は研修センターで62.1mg/kg、小ヶ倉で106mg/kg、多比良で311mg/kgであり、距離が遠いほどその量が多くなっている。一方SO₄はそれぞれ225、240、269mg/kgであり、Clのような大きな変化はみられない。従ってCl/SO₄比はそれぞれ0.745、1.19、3.13と距離が遠くなるにつれて大きくなることが示される。滞空距離が長ければ、滞留時間も長くなると考えられることから、各成分の量は多くなることが予想される。よってClの量の増加は滞留時間に対応したものと考えることができるが、あまり増加しないSO₄の量は、SO₂と火山灰との反応が規制されていることを意味するものと思われる。

次に、1993年7月16日12時30分頃に起きた火砕流による降灰を島原市広高野町(図1、6)で、12時37分から同57分にかけての5つの時間フラクション

表2 滞空距離の異なる3試料の分析結果。

地点	距離 (km)	pH	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	Cl/SO ₄	F/Cl
研修センター	3.9	6.94	135	14.4	38.8	5.53	4.73	62.1	0.83	tr.	225	0.745	0.142
国見町小ヶ倉	8.2	7.07	156	20.0	76.5	9.16	14.3	106	n. d.	n. d.	240	1.19	0.253
国見町多比良	12.5	7.13	204	25.8	115	19.2	21.1	311	0.75	32.1	269	3.13	0.126

距離：地獄跡火口からの距離；n. d.：検出されず；tr.：痕跡；各成分はmg/kgで表す

表3 滞留時間の異なる5試料の分析結果

時間 (時:分:秒 - 時:分:秒)	pH	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	Cl/SO ₄	F/Cl
12:37:30 - 12:40:30	7.34	135	17.4	15.6	2.68	8.75	40.3	n. d.	n. d.	125	0.874	0.405
12:40:30 - 12:42:00	7.42	136	16.1	13.1	1.78	10.6	48.7	n. d.	n. d.	125	1.06	0.406
12:42:00 - 12:43:45	7.26	129	15.2	17.8	2.46	11.0	62.8	0.97	n. d.	123	1.38	0.326
12:43:45 - 12:46:35	7.12	141	14.7	29.6	4.39	15.8	83.4	0.75	3.77	123	1.80	0.354
12:46:35 - 12:56:45	7.12	145	19.9	34.4	3.56	23.5	76.6	n. d.	6.27	139	1.49	0.571

n. d.：検出されず；各成分はmg/kgで示す

に分けて採取した。その分析結果を表3に示す。最後のフラクションを除くとClの量は時間が遅くなるにつれて40.3→83.4mg/kgと次第に大きくなること示される。一方SO₄の量は123~125mg/kgとほぼ一定であり、Cl/SO₄比は0.874→1.80と次第に大きくなること示される。時間が遅いほど滞留時間は長くなると考えられることから、ここでもClの量は滞留時間に対応して多くなっているが、SO₄の量は滞留時間に対応せずほぼ一定であることが示される。

このようにSO₄の量が滞留時間に関わらずほぼ一定である理由として、

(1) 気相中のSO₂が火山灰と反応し尽くした

(2) 条件の変化によりSO₂と火山灰の反応が進行しなくなった

の2点が考えられる。しかし(1)については、実際にSO₂が気相から完全に失われるとは考え難いことから、(2)がその理由として妥当であろう。このような現象は、SO₂は高温でないと火山灰と反応しないと考えることにより説明される。すなわち火砕流により火山灰が発生した直後は高温条件であるが、その後周囲の空気を巻き込むことにより温度は急速に低下すると考えられる。このため、SO₄の量は火砕流の発生から温度が低下するまでの限られた期間にのみ反応が起きるため、ほぼ一定であると考えられる。一方、吉田(1975)によると、火山ガスと火山岩との反応により岩石に付加するClの量は低温側で多いことが示される。このことからHClは低温でも火山灰と反応するため、Clの量は滞留時間に応じて多くなると考えられる。いずれにせよ同一火砕流起源の火山灰において、採取場所、採取時間によって最大で4倍以上にもなるCl/SO₄比の変動が存在することは、それを火山ガスのHCl/SO₂比に応用するにあたり相応の誤差を考慮する必要がある

5. 結論

雲仙岳火山活動による火山灰水溶性物質の特徴は、過去に他の火山で得られている特徴とほぼ一致する。また熔岩ドーム形成の初期にみられたCl/SO₄比の増大は、1977~1978年の有珠山火山活動の潜在ドーム形成時にみられた変化と類似している。

同一火砕流について位置、時間を変えて採取した火山灰の水溶性物質の分析結果から、Clは滞留時間に応じて多くなるが、SO₄は比較的一定であることが示される。これはHClは低温でも反応するが、SO₂は高温でなければ反応しないためと思われる。このためCl/SO₄比は火山灰の滞留時間に応じて大きくなる。

謝辞

玉川大学農学部の小坂丈予教授には現地調査を始め、多大なご協力を頂いた。東京工業大学草津白根

火山観測所の野上健治氏には、火山灰試料の分析方法をご指導頂いた。火山灰試料の採取には、島原市浄源寺住職の三浦一正氏、深江町立大野木場小学校校長の高柳忠昭氏をはじめとする地元の方にご協力頂いた。本学理学部の岡野修博士には原稿を読んで頂き、有益な助言を頂いた。以上の方々に深く感謝の意を表します。

文献

- 平林順一(1982): 桜島火山の地球化学的研究. 火山, 第2集, 27, 293-309.
- Iwasaki, I., Ozawa, T., Yoshida, M., Katsura, T., Iwasaki, B. and Kamada, M. (1966): Differentiation of magmatic emanation. *Bull. Tokyo Inst. Technol.*, 74, 1-57.
- 近堂祐弘・藤谷朋夫・勝井義男・新井田清信(1979): 有珠火山1977-1978年火山灰の性質. 火山, 第2集, 24, 223-238.
- 松尾禎士・日下部実・千葉仁・牛木久雄・小坂丈予・平林順一・安孫子勤・野津憲治・小沢竹二郎・荒牧重雄・佐藤和郎・林保・佐藤純・藤井直之(1977): 1977年有珠山噴火直後の地下水, 温泉水及び火山灰の地球化学的研究. 火山, 第2集, 22, 201-220.
- 野口喜三雄・神谷宏・中山弘(1962): 浅間山火山灰の水溶性成分. 日本化学雑誌, 83, 47-50.
- 小坂丈予・小沢竹二郎・酒井均・平林順一(1983): 木曾御岳火山1979年噴火後の活動状況と地球化学的研究. 火山, 第2集, 28, 59-74.
- 小坂丈予・平林順一・小沢竹二郎(1984): 桜島火山から放出された火山ガス組成. 科学研究費報告書: 火山ガス測定による噴火予測に関する基礎研究, 14-26.
- 小坂丈予・平林順一(1984): 浅間火山1982年4月噴火における噴出物の化学的検討. 科学研究費報告書: 火山ガス測定による噴火予測に関する基礎研究, 114-116.
- Taylor, P. S. and Stoiber, R. E. (1973): Soluble material on ash from active Central American volcanoes. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84, 1031-1042.
- 吉田稔(1975): 火山ガスと火山岩の反応によるフッ素, 塩素の分別に関するモデル実験. 日本化学雑誌, 449-454
- Yoshida, M. (1990): Fractionation of fluorine and chlorine through the volcanic process. *Geochemistry of gaseous elements and compounds* (Eds. E. M. Durrance, E. M. Galimov, M. E. Hinkel, G. M. Reimer, R. Sugisaki and S. S. Augustithis), 163-184. Theophrastus Publications S. A. Athen, Greece.

付録. 火山灰水溶性物質の分析結果

日付	採取地点	pH	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	Cl/SO ₄	F/Cl
91/02/12	島原市内							510			3860	0.358	
91/02/18	屏風岩火口200m							375			7530	0.135	
91/02/18	仁田循環道路上							358			3490	0.278	
91/05/27	深江町上大野木場							72.8			785	0.251	
91/06/03	島原城内自衛隊本部						40.8	71.4			242	0.798	1.07
91/06/08	島原市栢野町	6.13	189	58.4	175	27.0	4.90	231			532	1.17	0.0396
91/06/17	雲仙小中学校	6.01	149	29.7	34.0	12.9	5.25	74.3			100	2.01	0.132
91/06/25	三会中学校	5.89	117	31.3	63.8	13.4	2.07	110	0.81	n. d.	262	1.14	0.0351
91/06/27	三会中学校	5.34	107	30.1	109	16.8	22.1	257	n. d.	15.0	194	3.58	0.160
91/06/27	浄源寺		175	24.1	45.2	7.24	7.95	118			266	1.20	0.126
91/06/27	浄源寺		205	28.0	48.3	8.12	8.85	149			283	1.42	0.111
91/06/27	城内2丁目	5.66	146	45.7	156	29.0	13.9	449	n. d.	7.59	262	4.64	0.0578
91/07/22	城内2丁目	5.35	105	23.1	108	8.71	6.96	110	0.55	16.6	159	1.87	0.118
91/07/22	城内2丁目	5.45	238	54.1	221	24.7	6.54	593	n. d.	26.0	261	6.15	0.0206
91/07/25	三会中学校	5.47	268	59.6	217	21.0	7.74	461	n. d.	51.4	391	3.19	0.0313
91/08/01	城内2丁目	5.27	197	50.9	116	17.1	18.0	329	n. d.	6.49	162	5.50	0.102
91/08/11	城内2丁目	5.49	254	118	789	66.9	49.2	1630	n. d.	n. d.	344	12.82	0.0563
91/08/12	浄源寺	6.08	154	61.8	523	42.6	44.6	710	n. d.	48.3	375	5.12	0.117
91/08/26	雲仙小中学校	5.38	245	55.4	68.9	13.3	26.6	347			218	4.31	0.143
91/08/30	三会中学校	5.29	257	64.5	140	17.9	9.39	574			163	9.53	0.0305
91/08/31	三会中学校	5.70	297	51.9	115	9.94	7.49	255			333	2.07	0.0548
91/08/31	三会中学校	5.69	206	39.7	61.7	11.2	8.23	223			218	2.77	0.0689
91/09/03	杉谷運動広場	6.03	89.1	18.7	17.5	4.22	3.78	42.4			102	1.12	0.166
91/09/03	島原市油堀町	5.80	184	50.3	104	18.4	9.05	277			302	2.48	0.0610
91/09/03	研修センター	5.51	136	35.2	54.3	9.35	4.88	216			183	3.19	0.0422
91/09/03	三会中学校	5.52	237	45.0	81.3	14.0	24.9	293			254	3.12	0.159
91/09/06	城内2丁目							79.1			329	0.651	
91/09/06	浄源寺							57.3			378	0.410	
91/09/10	浄源寺							102			187	1.476	
91/09/11	三会中学校							228			234	2.64	
91/09/11	城内2丁目							178			220	2.19	
91/09/11	浄源寺							253			343	2.00	
91/09/15	浄源寺							292			408	1.94	
91/11/29	雲仙温泉	6.35	152	23.1	109	12.1	18.1	208	12.8	20.6	212	2.65	0.162
92/01/29	大野木場小	6.04	376	64.2	275	52.4	31.9	731	0.86	164	632	3.13	0.0814
92/02/04	大野木場小	6.06	123	17.8	53.9	5.82	16.8	148	1.06	9.73	273	1.47	0.212
92/02/10	大野木場小	5.68	279	57.0	83.3	20.2	10.9	343	n. d.	27.9	372	2.50	0.0593
92/02/14	大野木場小	6.03	291	96.7	60.6	26.9	14.7	258	n. d.	23.1	305	2.29	0.106
92/02/16	大野木場小	5.46	172	22.7	29.3	7.68	2.64	99.4	1.79	4.46	185	1.45	0.0496
92/03/03	大野木場小	5.90	235	38.3	55.6	13.5	1.49	253	n. d.	7.35	183	3.74	0.0110
92/03/08	城内2丁目	6.37	132	25.0	58.8	11.5	20.5	106	5.80	36.3	163	1.76	0.361
92/03/13	城内2丁目	5.49	171	22.5	118	15.1	18.5	138	1.99	72.2	373	1.00	0.250
92/03/13	浄源寺	6.63	124	17.4	85.9	9.60	20.7	79.1	4.87	44.4	175	1.22	0.488
92/03/30	深江町川原	6.41	172	24.6	13.5	3.03	5.15	20.9	0.82	8.28	168	0.337	0.460
92/04/01	深江町川原	6.24	195	27.2	82.8	13.7	6.77	114	0.64	n. d.	377	0.818	0.111
92/04/02	大野木場小	6.15	171	20.7	33.2	7.89	8.57	119	1.31	16.6	171	1.88	0.134
92/04/17	浄源寺	6.45	144	19.5	15.3	2.87	7.80	41.0	n. d.	16.2	126	0.881	0.355
92/05/18	大野木場小	6.17	123	17.0	38.0	8.54	6.67	89.1	0.44	4.10	163	1.48	0.140
92/05/18	深江町川原	6.28	215	39.7	142	15.7	35.1	235	n. d.	15.3	207	3.07	0.279
92/05/19	布津町町民運動公園	6.03	222	40.0	43.1	10.6	7.11	159	0.61	31.7	192	2.24	0.0834
92/05/19	布津町リス村	6.58	162	13.3	9.3	2.61	3.38	37.1	0.46	n. d.	137	0.733	0.170
92/05/21	浄源寺	6.45	112	26.3	116	12.6	46.2	71.4	0.86	72.7	191	1.01	1.21
92/05/22	浄源寺	6.43	131	20.3	33.1	6.91	8.73	60.1	0.57	49.9	139	1.17	0.271
92/05/22	浄源寺		118	16.8	146	10.1	14.6	61.0	1.90	75.2	172	0.960	0.447
92/05/23	浄源寺	6.48	142	24.3	65.1	11.5	9.34	67.2	0.70	47.2	204	0.891	0.259

日付	採取地点	pH	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	Cl/SO ₄	F/Cl
92/05/28	深江町八立妙行寺	6.82	187	25.4	28.1	7.15	9.87	106	0.28	24.2	147	1.95	0.174
92/05/29	浄源寺	6.40	198	36.1	60.5	12.1	18.1	118	n. d.	59.6	171	1.87	0.286
92/05/29	浄源寺	6.65	158	21.7	76.6	9.77	11.1	63.1	0.69	44.1	171	0.999	0.328
92/05/30	浄源寺	6.81	163	30.9	111	12.1	14.2	86.1	1.14	69.0	160	1.46	0.308
92/06/11	島原C.C.	6.25	140	20.3	55.6	12.5	29.9	116	0.40	44.6	138	2.27	0.481
92/06/11	島原地震火山観測所	6.62	158	32.7	116	17.6	46.9	118	n. d.	48.4	309	1.03	0.742
92/06/12	仁田峠第2展望所	6.14	131	16.6	15.9	4.27	5.97	42.2	0.26	13.5	124	0.921	0.264
92/06/12	島原C.C.	6.52	105	16.1	90.7	9.35	10.5	82.8	0.40	49.5	154	1.45	0.237
92/06/12	浄源寺	6.65	168	27.3	59.0	8.56	14.1	80.3	0.45	39.4	163	1.33	0.328
92/06/13	浄源寺	6.46	166	31.3	55.1	8.84	30.0	78.9	n. d.	63.2	166	1.29	0.710
92/06/14	浄源寺	6.23	147	14.1	18.7	4.33	9.14	77.0	n. d.	10.8	121	1.72	0.221
92/06/25	大野木場小	6.32	137	19.9	31.2	6.35	7.33	62.3	n. d.	21.5	162	1.04	0.220
92/07/08	浄源寺	6.29	167	19.7	126	13.8	61.1	115	0.74	58.8	217	1.44	0.992
92/07/14	浄源寺	6.23	169	34.7	94.7	15.8	15.8	179	n. d.	10.9	318	1.52	0.164
92/08/14	浄源寺	6.72	172	39.8	89.8	15.2	14.8	200	n. d.	6.56	308	1.76	0.138
92/08/14	浄源寺	7.75	138	18.8	9.2	2.01	8.31	43.4	n. d.	n. d.	107	1.10	0.357
92/09/16	深江町古江名	7.12	173	22.9	79.2	11.0	15.8	94.2	0.33	42.6	259	0.984	0.313
92/09/28	深江町	6.13	110	14.3	52.4	9.69	6.79	150	n. d.	2.26	199	2.25	0.0845
92/09/29	島原地震火山観測所	6.77	165	23.1	86.7	12.5	20.6	243	0.60	7.68	154	4.26	0.158
92/10/03	浄源寺	5.98	97.4	7.4	13.6	3.00	5.27	51.9	0.40	26.6	128	1.20	0.189
92/10/03	城内2丁目	7.41	164	23.1	29.6	5.08	11.7	39.0	0.34	17.4	247	0.427	0.558
92/12/16	大野木場小	6.27	179	23.1	59.3	10.2	13.4	187	0.78	10.2	218	2.33	0.133
93/01/16	大野木場小	6.75	164	24.0	108	17.5	11.6	125	0.33	11.2	373	0.903	0.173
93/02/21	浄源寺	6.22	250	70.7	236	26.3	29.0	297	3.29	tr.	329	2.44	0.195
93/03/09	浄源寺	5.80	189	36.1	84.5	15.3	3.92	101	n. d.	tr.	371	0.737	0.0726
93/03/12	大野木場小	5.88	226	41.3	163	23.4	13.5	13.0	n. d.	46.8	504	0.706	0.192
93/03/17	大野木場小	7.42	107	19.7	44.5	7.02	2.21	49.2	0.58	7.48	130	1.03	0.0836
93/03/30	研修センター	6.94	135	14.4	38.8	5.53	4.73	62.1	0.83	tr.	225	0.745	0.142
93/03/30	国見町小ヶ倉	7.07	156	20.0	76.5	9.16	14.30	106	n. d.	n. d.	240	1.19	0.253
93/03/30	国見町多比良	7.13	204	25.8	115	19.2	21.1	311	0.75	32.1	269	3.13	0.126
93/04/03	浄源寺	7.29	170	23.0	51.6	5.20	12.8	66.5	0.81	29.6	242	0.742	0.359
93/04/30	大野木場小	7.28	154	19.2	26.5	4.19	14.4	68.4	0.83	11.6	179	1.03	0.386
93/05/23	大野木場小	6.28	152	35.7	83.6	13.0	11.3	132	n. d.	25.3	301	1.19	0.160
93/06/23	浄源寺	6.19	189	42.2	127	16.9	25.5	334	n. d.	7.92	268	3.37	0.142
93/06/24	大野木場小	6.66	82.8	15.8	34.7	4.66	10.6	51.8	0.90	9.18	99	1.41	0.383
93/07/14	島原簡保	6.46	242	37.8	117	17.3	35.2	452	n. d.	5.02	176	6.95	0.145
93/07/15	秩父ヶ浦町	7.31	150	21.6	27.9	4.49	13.5	117	n. d.	4.84	146	2.15	0.216
93/07/15	深江町諏訪名	7.25	119	17.0	18.0	3.06	14.2	69.5	0.73	22.7	64	2.92	0.380
93/07/16	島原簡保	6.75	184	46.8	239	44.7	24.0	301	4.56	216	327	2.49	0.149
93/07/16	研修センター	7.28	80.2	14.1	87.2	5.87	36.1	60.7	0.53	30.9	126	1.31	1.11
93/07/16	広高野町	7.34	135	17.4	15.6	2.68	8.75	40.3	n. d.	n. d.	125	0.874	0.405
93/07/16	広高野町	7.42	136	16.1	13.1	1.78	10.6	48.7	n. d.	n. d.	125	1.06	0.406
93/07/16	広高野町	7.26	129	15.2	17.8	2.46	11.0	62.8	0.97	n. d.	123	1.38	0.326
93/07/16	広高野町	7.12	141	14.7	29.6	4.39	15.8	83.4	0.75	3.77	123	1.80	0.354
93/07/16	広高野町	7.12	145	19.9	34.4	3.56	23.5	76.6	n. d.	6.27	139	1.49	0.571
93/07/16	広高野町	7.27	156	18.8	17.0	2.74	11.7	78.3	n. d.	n. d.	125	1.70	0.279
93/07/19	大野木場小	7.02	131	17.9	41.5	5.85	12.8	91.6	n. d.	n. d.	170	1.47	0.260
93/08/23	龍照寺	6.71	161	14.2	61.6	5.22	17.6	121	n. d.	24.2	233	1.41	0.271
93/08/23	龍照寺	6.76	147	17.9	67.1	5.95	15.6	121	n. d.	23.7	233	1.41	0.240
93/08/31	浄源寺	6.64	154	27.1	123	14.4	47.6	224	n. d.	63.0	205	2.96	0.397
93/08/31	浄源寺	6.75	146	22.5	70.0	9.77	20.0	163	n. d.	18.8	199	2.22	0.230
93/09/10	大野木場小	6.78	107	13.3	33.8	6.08	14.7	127	n. d.	7.45	97	3.55	0.216
94/01/20	大野木場小	4.71	380	150	957	167	18.4	718	n. d.	15.6	2810	0.692	0.0478
94/02/03	大野木場小	6.51	234	30.3	185	30.9	20.1	203	0.80	tr.	702	0.781	0.185
94/02/03	大野木場小	6.23	336	63.4	452	76.4	26.3	262	1.78	4.41	1610	0.440	0.187
94/07/11	浄源寺	6.94	433	175	1010	225	19.5	635	n. d.	50.0	3350	0.512	0.0572

n. d.: 検出されず; tr.: 痕跡; 各成分量: mg/kg