

# 火山灰粒度と付着火山ガス

比良 信幸\*・高橋 秀夫

(1980年10月14日 受理)

Sizes of Volcamic Ashes and Volcamic Gas Attached to the Ashes

Nobuyuki HIRA\* and Hidewo TAKAHASHI

## 1. 緒 言

桜島火山周辺の住民はその噴出物のため種々な被害を受けており、特に桜島周辺の農作物が受ける被害は著しい。この農作物の被害は、ごく常識的には降灰によるものとみなされているが、筆者の一人（比良）は桜島地区に居住しているため、火山灰そのものが直接的原因をなしているのではなく、火山灰に付着している火山ガスが原因であることを経験的に認識している。なぜならば、農作物が被害を受けるのは火山灰が小雨とともに降下している時で、あたりに火山ガスの臭気がただよっているからである。雨にぬれた火山灰の pH を測定してみると1~2である。この事実は空気中の火山ガスや火山灰に付着していた火山ガスが雨水に溶けこんで、雨水を酸性にしたと解釈できる。この酸性雨水が農作物に被害を与えるのである。

火山噴火の原動力がマグマ中の水分の急膨脹にあることは定説である。火山ガスの大部分はマグマ中の水に溶解しているであろうから、マグマ中の水分の量とそれに溶解している火山ガスの組成と量の変化についての規則性を見出し、それらの変化の原因を知り得れば、火山噴火予知が可能になるだろう。現段階において、マグマ中の水分の量の急激な変化について定説はない。筆者の一人（高橋, 1980）は桜島火山に関する限り、マグマ中の水分量の変化はマグマ外に原因をもつと推定している。マグマ中の水分の変化の原因がマグマ外にあるならば、外部からマグマにとりこまれる水とその水に溶解している物質と、元来マグマに含まれていた水とその水に溶解している物質との間に何らかの量的関係があるであろう。この量的関係が判明すれば、これもまた火山噴火予知に大いに役立つ筈である。

我々の本研究は噴出火山ガスの組成と量とか火山噴火予知という大きなテーマについてではなく、火山ガス研究の一手段としての火山灰に付着している火山ガスの測定について基礎的検討を行うことを目的としている。このために、4試料について粒径別にふるい分けし、付着塩素量を測定してその結果について調べてみた。

---

\* 鹿児島市立黒神中学校

## 2. 粒度分析の意義

採集された火山灰が噴煙のどの部分に含まれていたのか、噴火の初期に噴出したのか、後期に噴出したのかを推定することは、付着火山ガスの分析結果の解釈上極めて重要なことである。

火山灰粒子の落下速度は粒径の関数であって、粒径が極めて小さければ、Stokes の法則が成立し、落下速度は直径の2乗に比例するようになる。Stokes の法則が成立しない範囲の直径をもつ粒子の落下速度の評価には Walker *et al* (1971) の研究が利用できる。彼等によれば、火山灰粒子の落下の終末速度は直径 0.15 cm のとき 6.9 m/sec, 直径 1.6 cm のとき 18.0 m/sec である。この結果から落下速度は直径の0.4乗に比例していることがわかる。本論文では、火山灰粒子の落下速度から噴煙の高さを推定するという定量的な検討は行なわないので、粒径が大になれば、落下速度も大になるという定性的理解で満足することにする。

火山灰粒子は風によって水平方向に運搬される。この場合の運搬速度は粒径が小さくなれば風速と同じであると考えてよい。運搬速度の評価のために、風速 5.0 m/sec の風が吹いている時、初速 100.0 m/sec で種々な直径をもつ粒子を空中に打ち上げた場合の数值計算をしてみた。この計算の結果、粒子の到達高度は空気抵抗のため極めて低いこと、打ち上げ 0.1 秒後における水平方向速度は直径 0.01 cm のとき、4.95 m/sec, 0.05 cm のとき 3.67 m/sec まで加速されることがわかった。火山灰はガス（主として水）とともに噴出・上昇するのであるから、この計算は火山灰の実際の運動を何ら反映していないが、もし風があれば、火山灰はガスとともに風に運ばれ、落下時には風速とほぼ等しい水平方向速度をもっていると仮定してよいだろう。この仮定のもとに、噴煙は線状で横方向の拡がりが無視でき、全ての火山灰は垂直に噴き上げられ、落下・採集されたと考えると、火山灰の噴出から落下・採集に至るまでの時間、すなわち同一場所で採集された火山灰の滞空時間は粒径に無関係に一定になる。

火山灰がその最高高度に達するまでの時間は極めて短時間であるから無視でき、火山灰の滞空時間の大部分は落下時が占めている。全ての火山灰の滞空時間がほぼ一定であることは、粒径が大である火山灰は小であるものよりも高空から落下したことになる。このことは粒径が大である火山灰の方が小であるものよりもより大きなガス圧を受けていたことを意味する。火山噴火において、噴火開始の瞬間でガス圧は最大であって、時間とともにガス圧は減少していくのであろうから、粒径が大である火山灰はまた噴火の初期に形成されたと考えることもできる。

以上の考察から、我々は同一場所で採集された火山灰をふるい分けて粒径をそろえ、それぞれの粒径の火山灰毎に付着火山ガス量を測定することにより、噴煙中の火山ガスの時期的変化を知り得る可能性を見出すのである。

## 3. 粒度と表面積

種々な半径をもつ球形粒子の集合において、半径  $r_i$  の粒子の重量比が  $w_i$  であるとすると、単位

重量中の粒子の数  $N$  は次式で与えられる。

$$N = \frac{3}{4\pi\rho} \sum_i \frac{w_i}{r_i^3} \quad (1)$$

ここで  $\rho$  は粒子の密度である。このとき、全粒子の表面積の和  $S$  は

$$S = \frac{3}{\rho} \sum_i \frac{w_i}{r_i} \quad (2)$$

である。もし半径  $r_0$  の粒子が  $N$  個でその全表面積が  $S$  であるとする

$$4\pi r_0^2 N = S. \quad (3)$$

故に

$$r_0^2 = \frac{\sum_i \frac{w_i}{r_i}}{\sum_i \frac{w_i}{r_i^3}}. \quad (4)$$

(4) 式で定義される  $r_0$  を本論文では平均半径と称する。

もし全ての火山灰が球形であると仮定すると、粒子の半径が  $r$  であるとき、単位重量あたりの火山灰には  $1/\frac{4}{3}\pi r^3\rho$  個の粒子があり、1個の粒子の表面積は  $4\pi r^2$  であるから、単位重量の火山灰中の全粒子の表面積は  $1/r$  に比例する。従って表面のみに関係するある量を縦軸に、横軸に  $1/r$  をとるグラフで、その量と  $1/r$  との関係を表わせれば、もし単位表面積当りのその量が一定であれば、その量は原点を通る直線上にプロットされる。そしてその勾配は単位表面積当りの量に比例する。火山灰をふるい分けし、ある粒径範囲の火山灰の粒径を上限と下限のふるいの風の間値で代表させ、各粒径の火山灰から  $1g$  とって、その付着火山ガス量を測定し、上述のグラフにプロットすると単位表面積当りの付着ガス量を求めることができる。しかし、火山灰の形状は粒径が小であれば球形に近づくとと思われるが、粒径が大になるにつれて不規則な形状になり、球形から離れていく。粒径が球形から離れれば同一重量に対して表面積は増加するから、測定値の分析の際に留意しておく必要がある。

#### 4. 結果と考察

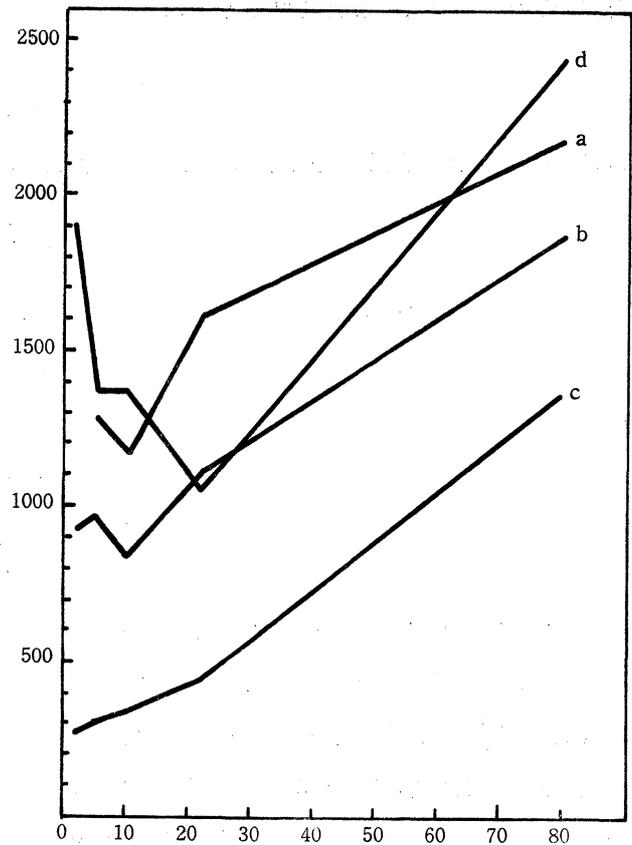
黒神中学校校庭で、昭和55年7月14日、18日、29日、31日に採集した4試料と他に14試料の火山灰について、ふるい分けせず、付着塩素量を測定した。その結果を第1表に示す。これらの試料について、ふるいの目が、4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.125 mm, 0.05 mm のふるいでふるい分けして、その重量比を測定して、各試料について平均粒径（半径）を求め、その逆数と付着塩素量との関係を調べたが、有意的関連は認められなかった。

さらに上述の4試料について、各粒径の  $1g$  当りの付着塩素量を測定した。その結果を第1図に示す。

第1表と第1図から、付着塩素量の変化には粒径の大きな粒子のそれが大きく寄与していること

第1表

採集年月日	平均半径 (mm)	$1/r_0$	付着塩素 イオン量 (mg/kg)
1979, 1, 9	0.015	66.6	184.2
5, 8	0.0165	60.6	731.4
9, 7	0.0175	57.2	852.0
12, 26	0.0225	44.4	14.2
1980, 1, 19	0.017	58.8	142.9
2, 14	0.0155	64.6	275.8
2, 14	0.0185	54.0	51.3
3, 3	0.022	45.2	32.4
4, 7	0.0145	69.0	191.0
4, 30	0.014	71.4	149.2
5, 5	0.0145	69.0	254.7
5, 30	0.0145	69.0	1576.4
6, 24	0.0135	74.0	1413.2
7, 3	0.013	77.0	209.5
7, 14	0.0145	69.0	1628.0
7, 18	0.014	71.4	1017.8
7, 29	0.0145	74.0	639.5
7, 31	0.0145	69.0	1807.7



第1図

横軸：粒径の逆数 (1/mm)

縦軸：塩素イオン量 (mg/kg)

採集年月日

a : 1980, 7, 14

b : 7, 18

c : 7, 29

d : 7, 31

がわかる。例えば7月29日と31日の付着塩素量比はふるい分けしない場合には3近くなるが、ふるい分けした場合には、粒径が小になれば2以下になる。この事実は噴火初期のガス中の塩素量は噴火のたび毎に大きく変動するのか、粒子が大きになると形が不規則になり表面積の変化が著しいのかのどちらかによるのか、両方によるのかであろう。火山灰の形状が球形からずれるための効果は付着火山ガス量の解釈に望しくないので、我々はできる限り小粒径の火山灰の付着火山ガス量を測定する方がよい。

第1図から、粒径が大きになると、単位表面積当りの付着塩素量は著しく増加することがわかる。我々は火山灰粒子を球形とみなしているのであるが、球形でなくとも全ての粒子が相似形であれば、単位表面積当りの付着塩素量が一定であれば、付着塩素量は粒径の逆数に比例する。7月29日の試料においてさえ、粒径0.75 mmの粒子の単位表面積当りの付着塩素量は粒径0.025 mmのその5倍以上である。我々は粒径と表面積の関係についての知識がないので、単位表面積当りの付着塩

素量の増加が、表面積の増加による見掛けのためか、真に増加しているのか判定できないが、増加の顕著さから、粒径が大になると単位表面積当りの付着塩素量は増加していると考えられる。粒径の大きな粒子は噴火初期に形成されたのであるならば、噴火初期のガス中の塩素量の濃度は大であることになる。このことを確認するためには、火口からの距離を異にする採集場所を設け、同一粒径の火山灰の付着塩素量を測定することが必要である。

我々は塩素についてしか付着量の測定ができなかったが、さらに他の元素についても粒度分析して測定すれば興味ある結果が得られるであろう。小坂ら (1975, 1977, 1980) によれば Cl/S の比は月別噴火回数と同傾向の変化をする。我々の測定結果によれば、塩素は噴火の初期に濃集しているようである。硫黄については測定していないので、憶測しかできないが、小坂らの結果と合わせて考えると、Cl/S の値は噴火初期に大になる可能性がある。このことがもし実測から裏づけられれば塩素は硫黄よりマグマ上部に濃集しやすいことになる。

## 5. 結 論

上述の議論を総括すると次のようになる。

- (1) 火山灰の粒径は小さい方が大きい場合よりも形状が単純になるだけ付着ガス量の解釈が明確になる。
- (2) 粒径の小さな火山灰の付着ガス量の噴火毎の変化は大きいものの変化よりも小である。
- (3) 付着ガス量の比較においては、単位表面積当りの値を比較すべきである。このためには、粒径が小で粒度範囲が同一である火山灰の付着ガス量を比較すればよい。
- (4) 同一時刻に同一場所で採集された火山灰は粒径の小さいものの方が大きいものよりも噴火後期に形成された。
- (5) 噴出ガスの時間的変化を追うために、火山灰の採集場所を増し、採集時間を特定すべきである。

## 謝 辞

本研究にあたり、化学教室の実験室・実験装置を利用させていただき、化学教室桐山哲世助教授には化学分析について種々御指導いただいた。化学教室および桐山哲世助教授に心から感謝する。

## 文 献

- 小坂文予, 小沢竹二郎 (1975). 桜島火山の総合調査報告, 62~66.  
小坂文予, 平林順一, 小沢竹二郎, 君島克憲 (1977). 第2回桜島火山の集中総合観測, 68~80.  
小坂文予, 平林順一, 小沢竹二郎, 君島克憲 (1980). 第3回桜島火山の集中総合観測, 63~76.  
高橋秀夫 (1980). 鹿児島大学教育学部研究紀要 (自然科学編) 1~7.  
Walker, G. P. L., Wilson, L., Howell, E. L. G. (1971). Geophys. J. R. astro. Soc. 22, 377~383.