

25. 浅間火山における二酸化イオウ 放出量の測定

九州大学理学部 太田 一也
地震研究所 鍵山 恒臣
九州大学理学部 松尾 紉道

(昭和53年4月28日受理)

1. ま え が き

火山から放出される火山ガスの量が、マグマの活動状態に対応した変化を示すならば、それらを長期にわたり、継続的に観測することによって、火山噴火予知のための有力な情報をうる事が期待できよう。

一般に、活動的な火山からの火山ガス全放出量を把握することは、極めて困難である。しかし、これを二酸化イオウ SO_2 1成分に限定すると、相関スペクトロメータによる遠隔測定によって、その概略値を見積ることが可能である。わが国の諸活火山においては、既に、同装置による SO_2 放出量の測定がなされつゝある(大喜多, 1971; MOFFAT, A. J. et al., 1972; 大喜多・下鶴, 1975; 鎌田・窪田, 1975; 鎌田・太田, 1977a, b, c)。

今回、浅間火山の集中総合観測の一環として、 SO_2 放出量の測定を行なったが、同火山では、これまでに、1972年(MOFFAT A. J. et al., 1972) および 1974年(大喜多・下鶴, 1975)にも実施されている。この間、1973年に噴火があり、測定された放出量にも大きな変化が認められる。そこで、これらの測定値も含めて、 SO_2 放出量と火山活動との相関性について検討してみた。

2. 測定方法

測定に使用した相関スペクトロメータは、Barringer Research 社 (Canada), COSPEC IV-B 型である。この装置は、自動巡回装置を付加することによって、水平～緩傾斜面での左右反復巡回操作が可能である。これらの仕様を Table 1 に示す。

測定方法は、火口から数 km 離れた固定観測点から、上昇噴煙に測定装置の望遠鏡照準を合わせ、緩傾斜面で左右に自動反復巡回させて、噴煙柱の水平断面を走査する Panning 法と、望遠鏡を垂直上方に向けた測定装置を自動車に搭載し、気流に乗ってほぼ水平方向に流れている噴煙流の真下を横断移動して、その垂直断面を走査する Traverse 法の 2 通りを実施した。

今回試みた固定観測点は、浅間火山東北側山麓の黒豆河原展望所 (S_1) および鬼押出し園 (S_2) の 2 箇所、火口からの水平距離は、それぞれ 4.0 および 4.3 km である。なお、測定条件は、巡回速度 $20^\circ/\text{min}$ 、時間定数 1 sec、記録紙送り速度 $20 \text{ mm}/\text{min}$ であ

Table 1. The specifications of measuring instruments

Barringer COSPEC IV-B

Target gas: SO_2

Range of measuring contraction: 0—1,000 ppm-meters (Volume to volume)

Estimated detection limit: 10 ppm-meters (T.C. 1 sec)

Light sources: Scattered solar radiation

Spectral absorption band: 3,100Å

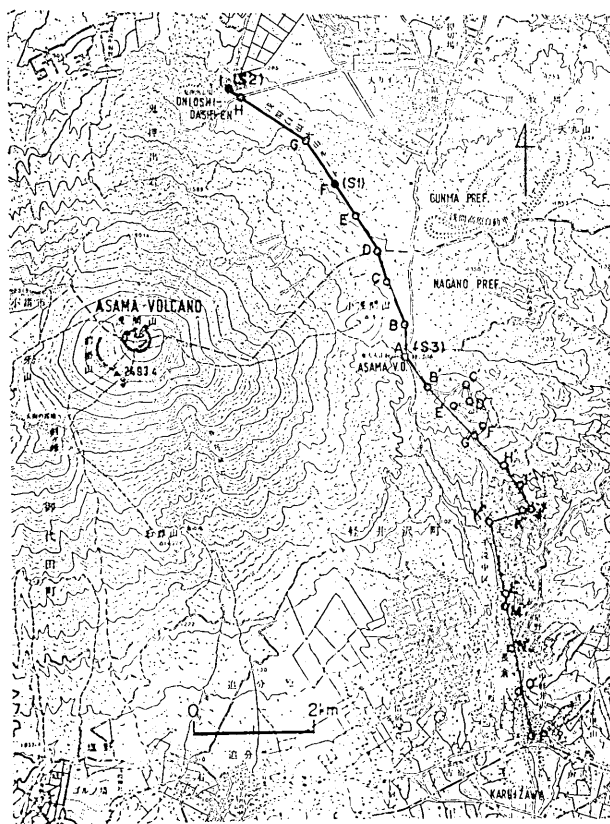
Visual angle of the telescope: 1°

Build-in reference cells for calibration: 115, 345 ppm-meters

Mikami Auto-pan-set PTH-7

Range of inclination: $-30^\circ \sim +50^\circ$ Range of rotation: $-170^\circ \sim +170^\circ$

Steps of panning speed: 5, 20, 60°/min

Fig. 1. Topographic map of the volcano Asama and the observation sites (S_1 , S_2) and the route (P' -I) for SO_2 measurements. S_1 : Kuromame-gawara S_2 : Onioshidashi-en

る。また、移動観測は、中軽井沢から東京大学地震研究所浅間火山観測所にいたる国道146号線(P'-A)と、そこから分岐し、鬼押し園にいたる浅間白根火山ルート(A-I)で実施した。測定条件は、横断速度30~40 km/hr、時間定数1 sec、記録紙送り速度20 mm/minである。これらの測定位置を Fig. 1 に示す。

測定結果は、ペンレコーダにより、走査線に沿って、積算濃度(ppm-m, vol./vol.)断面として描かれるが、これを積分し、別の方法で求めた走査実距離、噴煙上昇速度または噴煙流速・方向および走査方向などから、放出量(20°C, 1 気圧状態に換算)が算定される。

今回の観測では、噴煙上昇速度は、固定観測点から測風経緯儀(玉屋, Balloon theodolite JMA-53 型)によって、噴煙の盛り上りを追跡してえた $\Delta t - \Delta h$ 関係図(Fig. 2)をもとに、測定視野にあたる山頂からの高さ0~80 m間の平均値を、近似的に求めたものを用いた。また、噴煙速度は、同じく測風経緯儀により Pibal 観測をしてえられた山頂火口比高1,240 m前後の、1,000~1,500 m間の平均風速・風向を用いた(Fig. 3)。

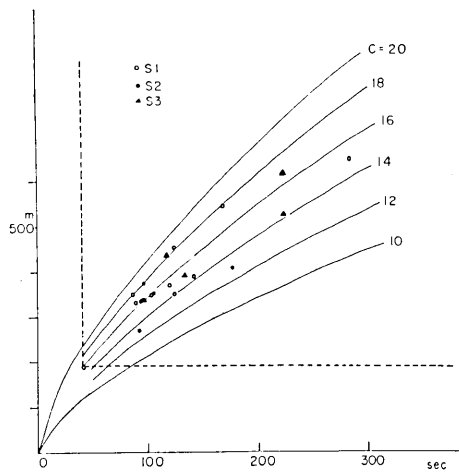


Fig. 2. Rising speed of volcanic smoke observed from the three different sites (cf. Fig. 1 S₁, S₂, S₃) on September 17. The origin on the dotted coordinates indicates the crater rim.

S₃: Mine-no-chaya

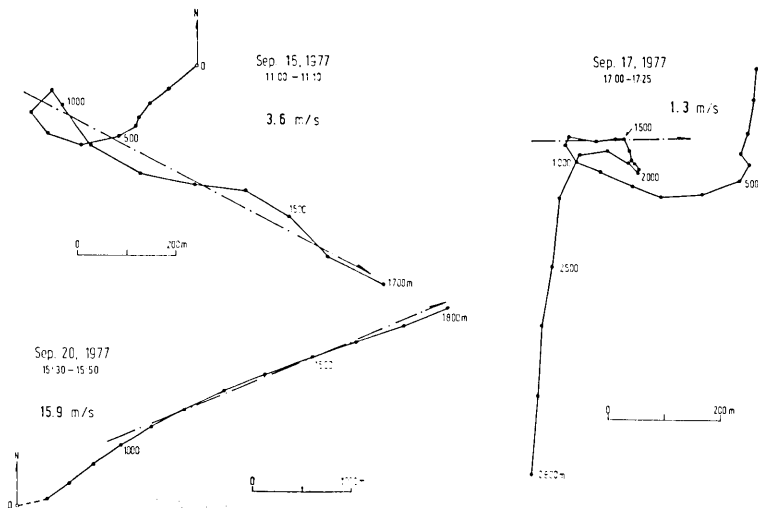


Fig. 3. Tracks of balloons for observing the direction and horizontal velocity of wind at the altitude concerned.

3. 測定結果および考察

測定期間は1977年9月16～20日で、このうち実測できたのは、16, 17 および 20日の3日間である。この間、Panning 法ならびに Traverse 法によるもの各8回、合計16回の測定値がえられた。それぞれのSO₂ 積算濃度断面記録チャートを Figs. 4 および 5 に、また、算定された放出量を Table 2 に示す。

これらに示されるように、今回の測定期間内でも、SO₂ 放出量の算定値は、大きくばらついている。また、同一測定日に限っても、その巾は可成り小さくなるが、依然としてばらつきがみられる。このばらつきの原因としては、(1) 短時間的(分単位)には、噴煙の放出状態が断続的～波状である、(2) 長時間的(日単位)には、火山活動に変動がある、あるいは、(3) 大きな測定誤差が介在しているなどが考えられよう。

今回実施した測定方法では、濃度断面走査段階までの相対誤差は小さく、ほとんど無視できる範囲にとどまるが、噴煙速度の測定に誤差があれば、放出量の算定値に大きく影響してくる。実際の観測では、噴煙速度の測定時刻は個々の走査時刻と完全に一致させているわけではなく、上昇速度については、すでに示したように、走査と並行してくり返し測定したのから、平均値を近似的に求めたものであり、図からもわかるとおり、±約30%の変動が認められる。また、風速・風向については、今回の場合、最大4時間の時差があるものを用いているが、一般に、地上での観測結果では、これらは刻々と変化していて、短時間内でも±30%程度の変化は普通である。したがって、SO₂ 放出量算定値にも、噴煙速度の測定誤差に基づくばらつきを、この程度は見込まなければならないであろう。

さて、このような条件を考慮に入れても、算定されたSO₂ 放出量のばらつきは過大であり、その原因が、さきに指摘した(1) および(2)であることを示唆している。事実、

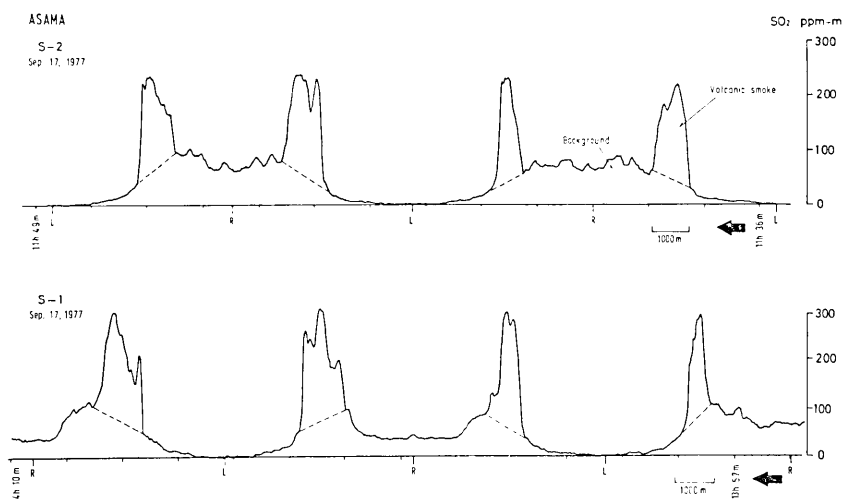


Fig. 4. Records of the panning method of measuring SO₂ emissions from the volcano Asama at the station S₁ and S₂.

Panning speed: 20°/min.

Chart speed: 20 mm/min.

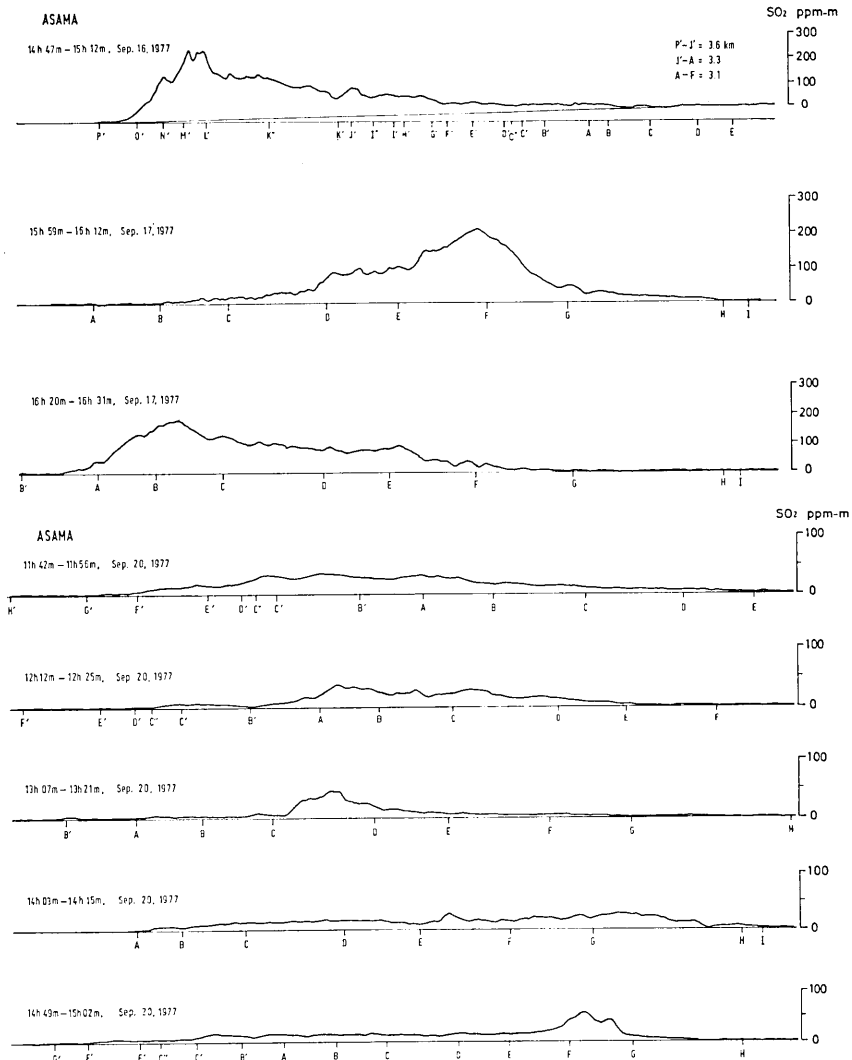


Fig. 5. Records of the traverse method along the eastern drive-way (P'-I).
Speed of motorcar: 30~40 km/hr.
Chart speed: 20 min/min.

目視観測によっても、短時間的な噴煙の放出状態は断続～波状的であり、また、長時間的にみても、測定期間内では、最大値の SO_2 放出量が観測された 9 月 16 日の噴煙量は、相対的に多く認められた。このようなことから、これらの測定値のばらつきは、見込まれる測定誤差をはるかに越えたものであり、短時間的には、放出状態の断続～波状の変動を、また、長時間的には、火山の活動状態の一つの消長を反映しているものとみてよいであろう。

そこで、火山活動との関連性を検討するために、観測期間内における SO_2 放出量の測定

Table 2. SO₂ emission from the volcano Asama measured on Sep. 16—20, 1977

Date	Time	SO ₂ emission, t/d*	Method	Station/Route
Sep. 16	14 ^b 47 ^m —15 ^b 12 ^m	375	Traverse	P'—C'
Sep. 17	11 37 —11 38	76.9	Panning	S ₂
	11 40 —11 41	54.7		
	11 43 —11 44	96.4		
	11 46 —11 47	77.1		
	13 57 —13 58	56.0	Panning	S ₁
	14 00 —14 01	84.4		
	14 04 —14 05	115		
	14 07 —14 08	106		
	15 59 —16 12	86.7	Traverse	B'—H
	16 20 —16 31	85.1		
Average values		84.2		
Sep. 20	11 42 —11 56	157	Traverse	G'—I
	12 12 —12 25	177		
	13 07 —13 21	126		
	14 03 —14 15	241		
	14 49 —15 02	279		
Average values over the three -day		218		

* Metric tons per day, calculated in the state of 20°C and 760 mmHg.

値を、地震の日別発生回数ならびに目視観測による噴煙階級と対比させたものが、Fig. 6の(3)である。この図に示されているように、地震発生回数が最も多かった16日が、SO₂放出量も最も大きな値を示しているものゝ、各測定日のSO₂放出量と地震発生回数とは必ずしも調和した変動を示していない。これを翌日～翌々日の地震発生回数に対応させてみると、可成りよく調和した変動となることは興味深い。このような1例に過ぎない現象に有意性を求めることは危険であるが、雲仙火山や桜島火山での温泉の連続観測の結果では、地震発生や山頂爆発の直前に、水位や温度の一時的上昇が認められている(太田, 1977; 太田・露木, 1977) ことなどを考慮すると、もしこのように、地震発生回数の増加に先行して、SO₂放出量が増加するようであれば、マグマ発散物供給量の増加が、火山体内部の流体圧の上昇を来し、地震を誘発している可能性が考えられる。

つぎに、今回の測定値を、過去の測定値 (Table 3) と比較してみると、平均値において、1972年の測定値はほぼ同程度かやゝ低いが、1974年の測定値は4倍の高い値を示している。そこで、これらを測定日前後5日間の日別ならびに1971年以降の月別地震発生回数および噴煙階級とに対比させてみたのが、Fig. 6-(1), (2) ならびに Fig. 7である。これらの図に示されるように、地震活動からみた1972年6月前後の火山の活動状態は、

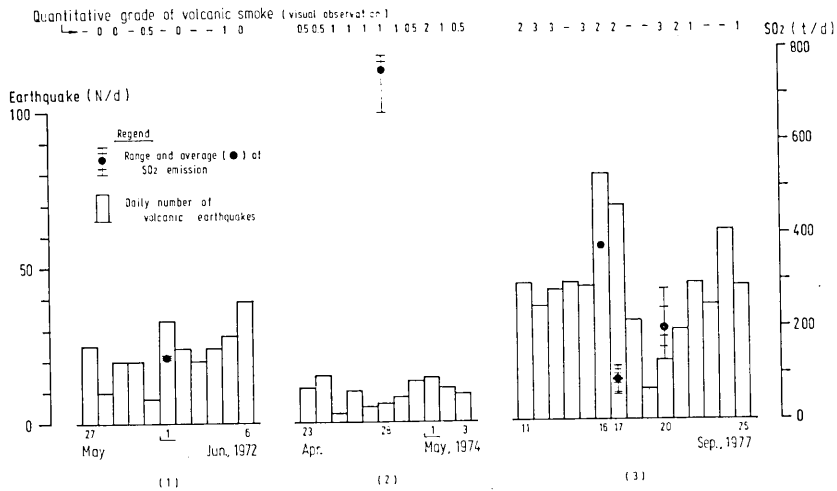


Fig. 6. SO₂ emissions, quantitative grade of volcanic smoke from the summit crater of the volcano Asama and the daily frequency of B-type volcanic earthquakes observed at San-no-torii. The earthquake frequency and quantitative grade of smoke are based on the data from the Asama Volcano Observatory of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, and SO₂ emissions in 1972 and 1974 on MOFFAT, A. J. et al. (1972) and OKITA, T. et al. (1975) respectively.

Table 3. SO₂ emission from the volcano Asama measured in the past

Date	SO ₂ emission, t/d	Method
Jun. 1, 1972	142.5	Traverse
	147.1	
	135.9	
Apr. 28, 1974	787	Traverse
	787	
	662	
	778	

* MOFFAT, A. J. et al. (1972)

** OKITA, T., SHIMOZURU, D. (1975)

今回の場合よりやや低いレベルにあり、SO₂放出量も調和した値を示している。しかし、1974年の場合には、地震活動ははるかに低いレベルであるにもかかわらず、SO₂放出量がこのように多いのは、その約1年前の1973年2~4月の噴火活動の影響であろう。つまり、深部からのマグマ発散物の供給量が増加していたとしても、噴火後の火道の閉塞が不十分で、火山ガスの放出が比較的容易な状態にあったため、火山体内部の流体圧は異常に上昇せず、したがって、地震も著しくは誘発されなかったものと思われる。もし、噴火直後にSO₂放出量を測定していたならば、さらに大きな値がえられたであろう。

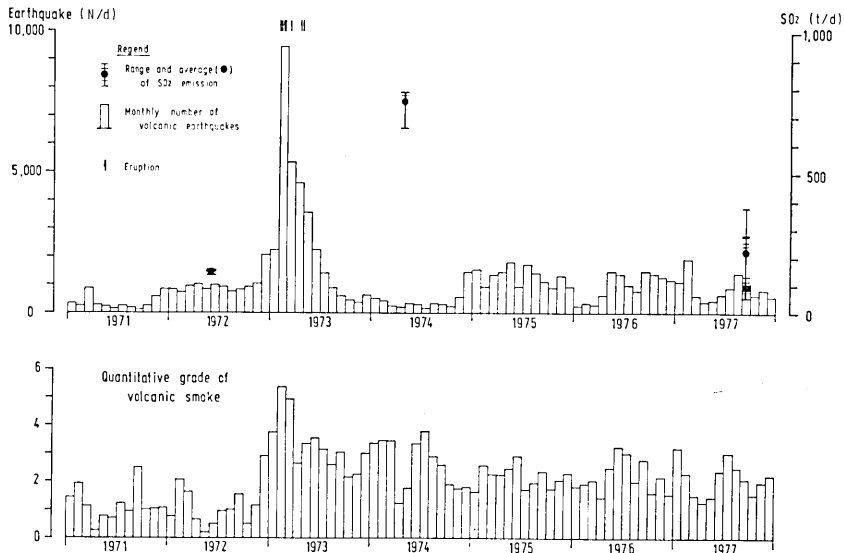


Fig. 7. SO_2 emissions, quantitative grade of volcanic smoke and monthly frequency of B-type volcanic earthquakes.

なお、 SO_2 放出量と噴煙階級とは調和してしかるべきであるが、すでにのべたように、噴煙観測が原則として午前 9 時であり、しかも、目視によるため、気象条件や火山ガス組成などの質的变化に起因した誤差を生じやすいため、必ずしもよい一致をみせていない。しかし、浅間火山では、噴煙の長期にわたる目視観測の結果、噴煙量と噴火活動とは正の相関関係にあり、噴火の 2 ヶ月前に、噴煙量が増加してくることが、統計的に確かめられている (関谷, 1967)。また、1973 年の噴火でも、その前駆現象として、2 ヶ月前から、地震ならびに噴煙量が増加した (下鶴他, 1975) ことが指摘されているが、浅間火山観測所の噴煙観測資料によると、噴火の 40 日前より、少なくともそれ以前の 2 年間には認められていない噴煙階級 7~8 が 4 回記録されている。このように、長期的にみても、噴火~火山性地震の激増に先行して、噴煙量が一時的にも増加していることは、さきのべた今回の観測期間における SO_2 放出量とその翌日~翌々日の地震発生回数との短期的相関性に共通する現象として、注目すべきことである。

なお、浅間火山は、今世紀に入ってから、休止期間 4 年以下にとどまる頻ばんな噴火活動をくり返しているが、1973 年の最新の噴火は、異常に長い約 11 年の静穏期を経てのものであった (下鶴他, 1975)。今回の測定期間は、この噴火よりすでに 4 年余経過しており、地震活動は必ずしも静穏ではないが、火山の活動度は、ほぼ中間期の平常状態にあるものとみられる。したがって、今回の SO_2 放出量測定値は、平均値において、最近の中間期における平常状態のレベルを示しているとみてよいであろう。

4. あとがき

今回の浅間火山における SO_2 放出量観測の結果は、つぎのように要約される。

(1) 測定日により、80~380 t/day の範囲で変動しているが、平均放出量は約 200 t/day である。

(2) 日単位では、ほぼ翌日~翌々日の地震発生回数と正の相関係が推定され、火山体内部の流体圧の上昇が地震を誘発している可能性を示唆している。

(3) 長期的には、地震や噴火活動と調和した変動が認められ、今回の測定値は、平均値において、ほぼ中間期の平常状態のレベルを示していると考えられる。

今後の課題としては、長期間にわたり、SO₂ 放出量の連続観測を実施し、地震活動との相関性についてさらに深く検討する必要があるであろう。併せて、量的評価のみならず、SO₂ と HCl など、他の成分との同時観測により、成分比をパラメータとする質的な検討が強く望まれる。

また、浅間火山では、これまでの長期間にわたる目視観測の結果、噴火に 1~2 ヶ月先行して、噴煙量の増加や色が変化する傾向が認められている (関谷, 1967; 下鶴他, 1975) ことから、遠隔測定装置による噴煙の量的・質的観測は、火山噴火予知に不可欠なものと思われる。

5. 謝 辞

本研究にあたっては、東京大学地震研究所下鶴大輔教授には、浅間火山の地震・噴煙観測資料の提供ならびに有益なご助言を賜わった。また、同浅間火山観測所の行田紀也、小山悦郎両氏には、現地観測にあたって、多大なご援助と貴重な資料のご提供をうけた。これらの方々に深甚なる謝意を表する次第である。

文 献

- 鎌田政明・窪田 亮 (1975): 桜島火山南岳からの SO₂ の放出量 (要旨). 火山, II, 20, (2), 123-124.
- 鎌田政明・太田一也 (1977a): 桜島火山南岳および九州地方諸火山からの二酸化イオウの放出量 (I) (要旨). 火山, II, 22, (2), 103-104.
- 鎌田政明・太田一也 (1977b): 桜島火山南岳および九州地方諸火山から二酸化イオウの放出量 (II) (要旨). 火山, II, 22, (3), 285.
- 鎌田政明・太田一也 (1977c): 桜島火山南岳からの SO₂ の放出量. 第 2 回桜島火山の集中総合観測報告書, 98-104.
- MOFFAT, A. J., NAKAHARA, T., AKITOMO, T. and LANGAL, L. (1972): Mt. Asama Volcano SO₂. Barringer Research technical paper, 062.
- 大喜多敏一 (1971): Barringer 相関スペクトロメータによる亜硫酸ガスおよび二酸化窒素発生量の測定. JASCO Report, 8, (7), 98-104.
- 大喜多敏一・下鶴大輔 (1975): 火山ガスのリモートセンシング, 火山から放出される SO₂ の測定. 火山, II, 19, (3), 151-157.
- 太田一也・露木利貞 (1977): 地下水・温泉の観測結果. 第 2 回桜島火山の集中総合観測報告書, 81-87.
- 太田一也 (1977): 雲仙火山における温泉観測 II. 九州大学理学部島原火山観測所研究報告, (11), 13-25.
- 関谷 淳 (1967): 火山観測, 浅間山の歴史と日本の火山. 総合サイエンスライブラリー, 16, 総合図書.

下鶴大輔・内堀真雄・行田紀也・小山悦郎・宮崎 務・松本時子・長田 昇・寺尾弘子 (1975): 1973年の浅間山噴火活動について. 地震研究所彙報, 50, 115-151.

25. *Remote Sensing Measurements of Sulfur Dioxide
Emissions from the Volcano Asama.*

By Kazuya ŌTA,
Faculty of Science, Kyushu University,
Tsuneomi KAGIYAMA,
Earthquake Research Institute,

and

Norimichi MATSUO,
Faculty of Science, Kyushu University.

The quantity of the SO₂ emission from the volcano Asama was remotely measured at the eastern foot using the Barringer's correlation spectrometer (COSPEC IV-B) from 16th to 20th, September in 1977. Two different methods were adopted for the present measurements, (1) the panning method, turning the side-viewing COSPEC on the volcanic plume just above the crater rim and sweeping almost horizontally. (2) the traverse method, traverse below the volcanic smoke flow with the upward-viewing COSPEC mounted on a motorcar.

The results are as follows. The quantity of the SO₂ emission in the period is an average 218 metric tons per day, ranging from 84 to 375 tons. The rate of emission fluctuates momentarily, but the daily averaged quantity shows the variations similar to the daily frequency of B-type volcanic earthquakes anticipated by a couple of days. This evidence implies the possibility that the mechanism of shallow volcanic earthquakes involves the consequences of the increasing pore pressure at the shallow part of the summit region during the degassing process. Comparing the present result with the previous data, the SO₂ emission and the monthly frequency of B-type earthquakes in 1972 were almost the same as the amounts in 1977. But, while the SO₂ emission in 1974, just after the eruption in 1973, was as much as four times that of 1977, the seismic activity was markedly low. It is probably because the volcanic gas was able to pass through the conduit easily due to the eruption in 1973 and hence the pore pressure could not increase.

At the volcano Asama, the increase of the volcanic smoke is frequently observed before the eruption. So, the further quantitative and qualitative monitoring of the volcanic smoke is highly desirable to pursue a means for predicting volcanic eruptions.
