

雲仙火山の溶岩の噴出率と地盤の変動速度から推定される マグマの供給率について

石原和弘

CONTINUOUS MAGMA SUPPLY INFERRED FROM DISCHARGE RATE OF MAGMA AND GROUND-DEFORMATION RATE AT MT. UNZEN, JAPAN

By *Kazuhiro* ISHIHARA

Synopsis

The current eruptive activity at the Fugendake, one of the central cones of Mt. Unzen started on 17 November in 1990, after the 198 years of dormant period. Dacitic lava has been extruded at a rate of $10^5 \text{ m}^3/\text{day}$ from one of the summit craters since late-May of 1991. The cumulative volume was 0.12 km^3 as of November, 1992. Geodetic survey detected gradual inflation prior to the extrusion of lava and subsequent deflation after the onset of lava extrusion around the western foot of the volcano. The analysis of the ground-deformation data suggested that a magma storage is located several kilometers deep, a few kilometers west of the eruption center. Quantitative relationship between integrated deformation volume of the ground surface and the amount of discharged lava suggests continuous supply of magma from a lower-crustal magma reservoir into the shallow storage. The supply rate during the past two years was estimated to be $(1\sim 2) \times 10^7 \text{ m}^3/\text{year}$.

Some andesitic or dacitic volcanoes which have erupted over a few decades commonly indicate a similar discharge rate of magma (and its supply rate) as the rates at Mt. Unzen, and the estimated supply rate of magma also satisfies the condition of constant magma ascent deduced theoretically by Fedotov. Therefore, the volcanic activity at Mt. Unzen may presumably persist during a few decades.

1. はじめに

雲仙火山の普賢岳では、198年間の休止期間をはさんで、1990年11月17日に山頂の旧火口で噴火が発生した。約6ヶ月の間、旧火口群で間欠的な噴火を繰り返した。翌1992年5月20日には旧火口のひとつ、地獄跡火口に尖頭型の固化した溶岩ドームが出現した。それ以降、溶岩の噴出が続き、溶岩ドームの成長と崩落による火砕流発生を繰り返している。1992年11月までの推定溶岩噴出量は約1億2千万 m^3 (国土地理院資料¹⁾)である。この量は、桜島の1946年の噴火の溶岩流および有珠山の昭和新山の体積に匹敵し、わが国の経験した今世紀の火山噴火の中でも1914年の桜島噴火に次ぐ大規模な活動の一つである。

今回の雲仙岳の活動により普賢岳東方の火砕流の流下域にあたる島原市及び深江町等の地域に多大な被害を与えているが、火山研究という側面からみると火山活動に関する新たな知見をもたらす可能性を含んでい

る²⁻⁴⁾。その一つは、溶岩ドーム崩落に伴う火砕流の発生機構である⁵⁾。わが国の火山研究の歴史の中で初めて経験する現象であり、繰り返し発生が続いていることから、火砕流の発生機構に関する研究の進展が期待される。他方、安山岩質～デイサイト質火山のマグマ供給システムと噴火機構に関する研究の進展も期待される。特に、前回の噴火(1792年)から約1世紀経った今世紀初頭以降の断続的な群発地震の発生と今回の噴火活動との関係^{1),6)}、長期にわたる活発な溶岩噴出活動等^{7),8)}の興味深い課題がある。

有史時代の噴火の溶岩の噴出量を見てみると、1663年の古焼溶岩が約 $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、1972年の新焼溶岩が約 $3 \times 10^7 \text{ m}^3$ と見積られている^{6),8)}。今回の活動による噴出溶岩は既に過去2回の噴火の4倍以上に達している。これらの溶岩の供給経路や源は雲仙岳の地下のどこにあるのであろうか？現在どれだけの溶岩が蓄積されていて、いつまで溶岩噴出が続くのであろうか？活動が継続するか、それとも終息に向かうかは、深部からのマグマの供給状態に依存している。雲仙岳の噴火予測にとって、このような雲仙岳のマグマ供給システムにかかわる諸課題の解明が重要である。

これらの課題に答える手がかりを得るため、合同観測班測地グループは雲仙岳周辺で水準測量、GPS 測量および辺長測量を行ってきた⁹⁻¹²⁾。その結果、島原半島西部では1986年11月の初回の水準測量¹³⁾以降、溶岩ドーム出現前まで小浜温泉付近を中心に地盤の隆起が続いており、溶岩ドーム出現以降、逆に島原半島西部を中心に地盤が沈降傾向をたどっていることが判明した。また、1991年1月に設置されたGPS 測量網⁹⁾でも溶岩噴出開始まで地盤が膨張し、その後収縮に転じたことが確かめられた。1992年2月までの地盤の沈降量の分布およびGPSによる水平変動の解析から、Fig. 1に示したような普賢岳直下から西に向かい順次深さと大きさが増大するような複数のマグマ溜りからなるマグマの供給システムの存在が推定されている。また、同グループは、噴火前の島原半島西部の地盤の隆起に注目し、今回の噴火までに地下に蓄積された溶岩の総量を試算し、溶岩噴出活動の長期化の可能性を指摘した¹²⁾。彼らは地盤の隆起は前回の噴火(1792年)あるいは島原地震(1922年)後からはじまったという前提に立ち、1986年以前も1986年から1990年までの期間の隆起率で地盤の上昇が続いていたとすれば、1992年2月までの噴出溶岩($8,200 \text{ 万 m}^3$)の2～5倍の相当するマグマが地殻上部に蓄積していることになることを示した。

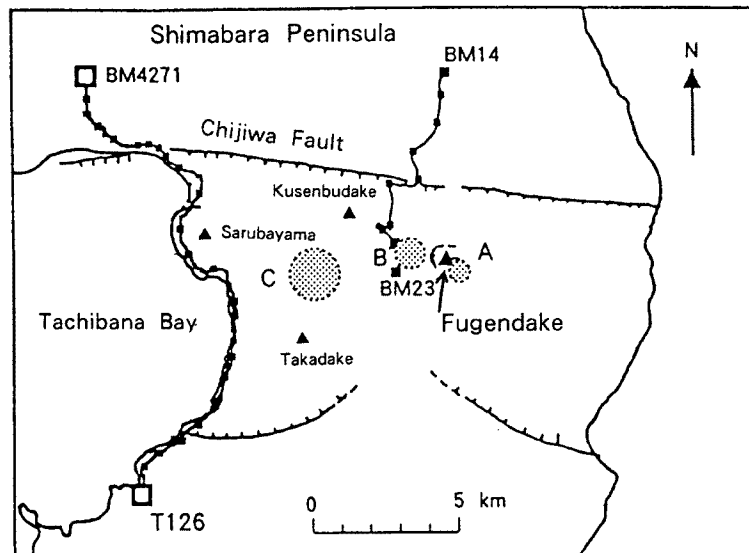


Fig. 1. Levelling routes, around Mt. Unzen, along which precise measurement has been repeated and the location of pressure sources inferred by Kamo et al. (1992). Four triangles denote central cones of Unzen volcano. At Fugendake, dacite lava has been extruded from one of summit craters since late-May of 1991. Three dotted circles denote the approximate location of pressure sources, those are, A, B and C, which are estimated to be situated at depth of 1.5 km, 5 km and 7 km, respectively.

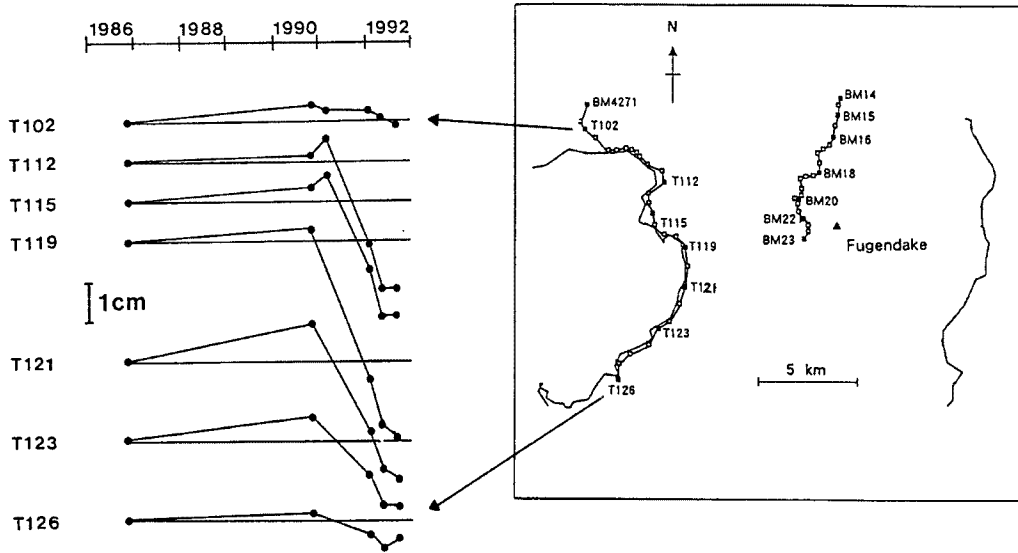


Fig. 2. Vertical displacement of benchmarks along the western coast of Shimabara Peninsula since November, 1986. Each displacement is calculated, assuming BM 4271 as a reference point.

普賢岳山頂付近の溶岩噴出に伴う地盤変動については、既に多くの研究者と調査機関によって観測研究がなされている^{14)–16)}。本稿では、雲仙岳周辺の地盤の隆起・沈降は地殻上部に蓄積しているマグマの収支を直接的に反映しているという仮定に立ち、地盤変動と溶岩噴出の量的関係を検討し、深部からのマグマの供給状態を推定する。その上で、他の火山の例と比較して、雲仙岳の噴火活動の特質を考察する。

2. 地盤変動と噴火活動の関係

測地グループが測定を実施してきた島原半島西岸と普賢岳北麓の水準路線の分布と代表的水準点の上下変動の時間的経過を Fig. 2 および Fig. 3 に示した。ここでは2つの水準路線の北端の水準点 BM4271 及び BM14 をそれぞれ不動点として、1986年11月及び1991年3月からの比高変化を示している。

西海岸の水準点の上下変動をみると (Fig. 2), 1986年11月から水蒸気爆発が発生した1990年11月までに水

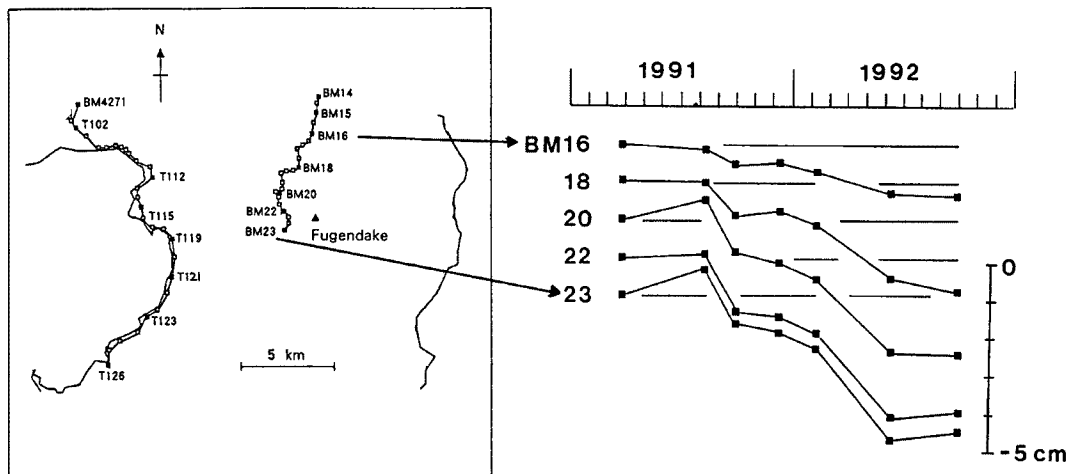


Fig. 3. Vertical displacement of benchmarks on the northern flank of Fugendake since March, 1991. Each displacement is calculated, assuming BM 14 as a reference point.

準路線の中間付近 (T121) を中心に隆起していることがわかる。翌1991年3月にはこの路線の北半分についてのみ測量が実施されたが、依然として隆起傾向が続いている。溶岩噴出開始9ヶ月後の1992年2月には顕著な地盤の沈降が確認された。この沈降傾向は同年5月まで続き、1992年5月～9月の期間は沈降速度が減少あるいは沈降が停止する傾向がある。

国土地理院が新設した普賢岳北山麓の水準路線でも (Fig. 3), 1991年3月から8月の期間普賢岳西側斜面は隆起を示している。8月以降、翌1992年6月まで沈降傾向を示している。その後の同年6月～9月の期間は、西海岸と同様に、沈降変動が停滞する傾向が認められる。

以上の経過は、1991年5月下旬の溶岩噴出開始時期頃を境として、それ以前は雲仙岳地下でマグマの蓄積が進行し、それ以降は溶岩噴出によるマグマの消費によって蓄積量が減少傾向をたどっていると理解される。

3. マグマの供給率の推定

地盤の変形と溶岩噴出活動との関係からマグマの蓄積量の変化と供給率をより定量的に把握するため、地

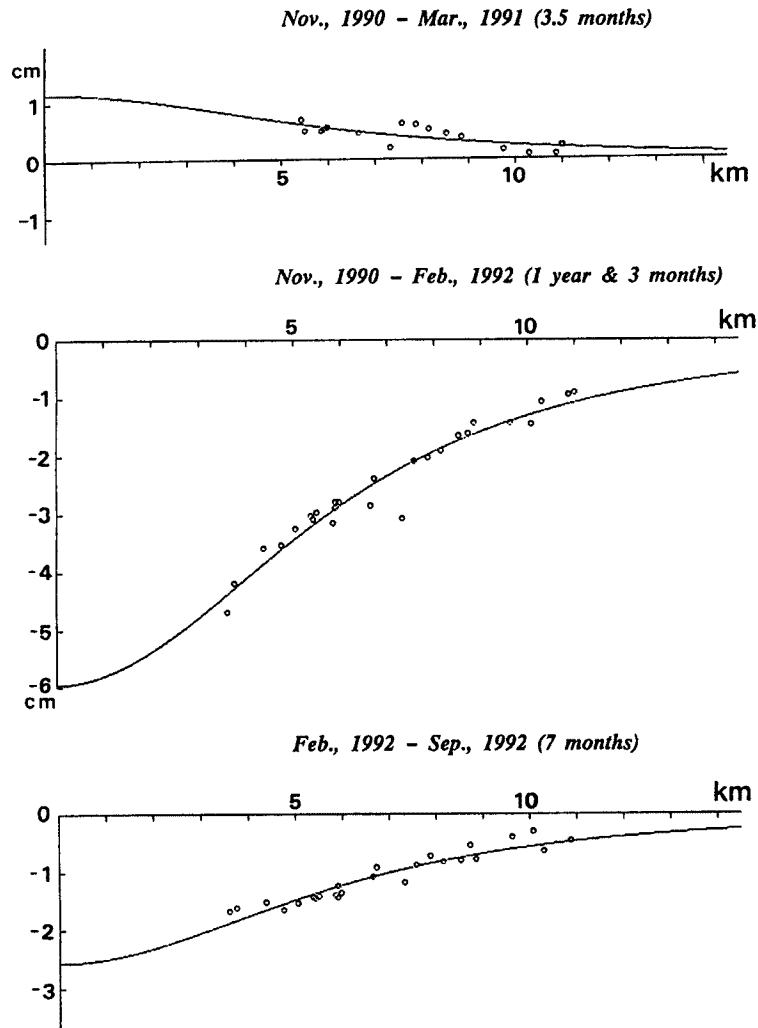


Fig. 4. Vertical displacement versus horizontal distance from the pressure source C in figure 1. Theoretical curves are obtained, assuming the depth of the source to be 7.5 km.

表面の変形容積を見積り、溶岩噴出量との関係を調べる。以下の議論では、雲仙岳周辺の地表面の変形容積とマグマの蓄積量との間に比例関係が成り立つことを仮定する。

今回の活動期間中の島原半島西部の地盤の変動は、普賢岳西方約 2 km 付近の地殻上部（深さ 7.5 km）に等方的な力源（いわゆる茂木モデル）を仮定し、その減圧によって説明できる。観測値を最もうまく説明できる力源の位置は、雲仙岳を構成する普賢岳、猿葉山、高岳及び九千部岳に囲まれる地域になる。Fig. 1 中で示した 2 つの浅い力源 A および B が変形容積に寄与する割合は力源 C に比べて約 1 桁小さい。そこで、Fig. 1 中に示した位置 C に主力源があると仮定して、5 つの期間について上下変動観測値と適合する変形曲線を求め、各期間の地表面の変形容積を推定した。そのうち、3 つの期間についての測定値と理論曲線を Fig. 4 に示した。なお、溶岩ドーム出現以前の 2 つの期間についても力源の位置は沈降過程と同じであると仮定した。

1986年11月を基準とした地表面の変形容積の時間的変化を、国土地理院が推定した噴出溶岩の積算量と併せて、Fig. 5 に示した。島原半島西部を中心とした地盤の隆起膨張は溶岩ドーム出現の1991年5月末まで続いたと考えられるので、1991年3月～5月の期間も1990年11月末～1991年3月と同じ隆起率が続いたとみなして変形容積の変化を描いている。島原半島西部では1990年11月の最初の噴火以前（期間 I）から地盤の隆起運動が始まり、その後の期間 II には隆起速度が加速され（約 $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mo.}$ ）、翌1992年5月の溶岩噴出

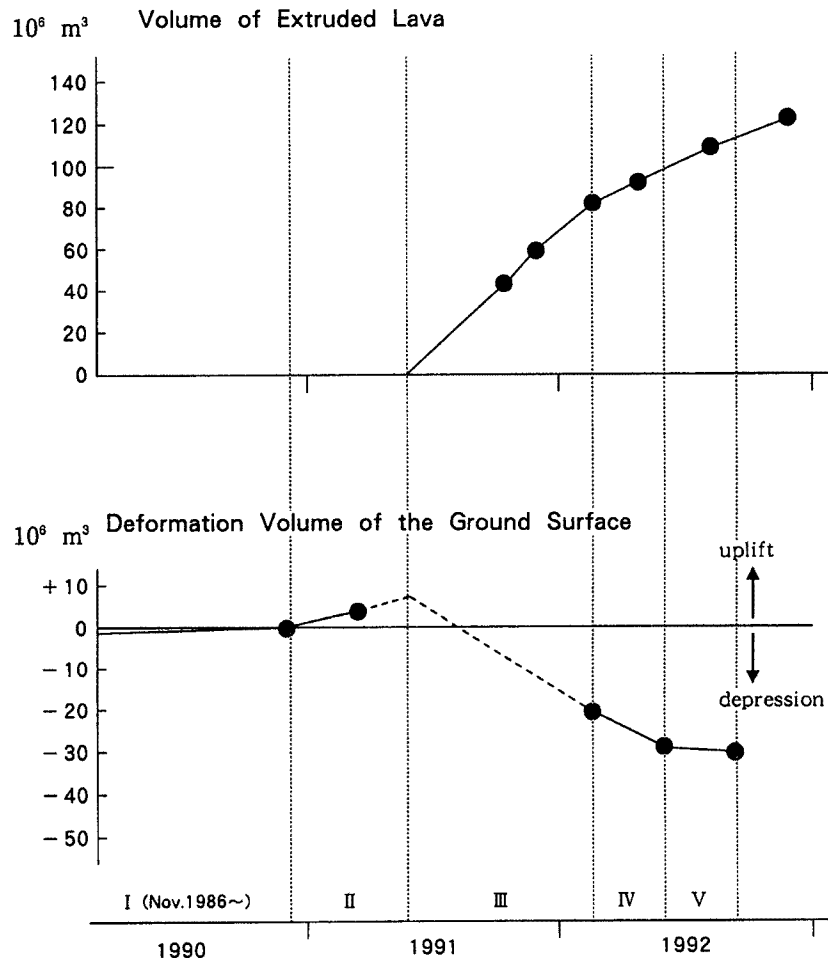


Fig. 5. Integrated deformation volume of the ground surface and cumulative volume of extruded lava. The volume of lava was estimated by Geographical Survey Institute of Japan (1992).

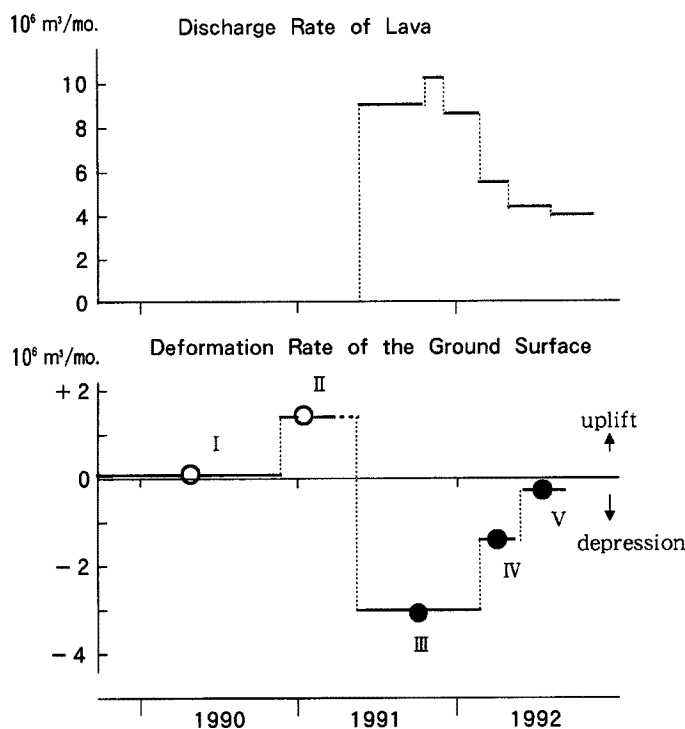


Fig. 6. Deformation rate of the ground surface during five periods from November, 1986 to September, 1992, and discharge rate of lava.

開始以降の期間Ⅲ及びⅣに急激な沈降をしたことが分かる。また、1992年に入ってから溶岩噴出率の低下に対応して、期間Ⅴでは地盤の沈降速度が減少したことが読み取れる。この図は、島原半島西部の地下には1990年11月の噴火開始前から深部マグマの蓄積が進行していたこと、1991年5月以降の溶岩噴出によりマグマの蓄積量が減少傾向をたどってきたことを示している。

ところで、1991年5月から1992年9月まで16ヶ月間の噴出溶岩の累積量 $1.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ に対して沈降容積はその約1/3の $3.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ と推定される。桜島の1914年の山腹噴火の場合の噴出物量（体積）に対する地盤の沈降量の比約1/2に比べて、雲仙岳ではその値がやや小さくなっている。その原因としては、噴出物量及び地盤の沈降容積の見積誤差が考えられるが、雲仙岳の場合には溶岩噴出開始以降もその直前の期間Ⅱの隆起率（約 $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mo.}$ ）に相当する割合で深部からのマグマの供給が続いたため、見かけ上、地盤の沈降容積が小さくなっていることも考えられる。

溶岩噴出開始以降も深部からのマグマの供給が続いていたか否か検討するために、測量期間毎の地盤の変動率を求め、溶岩噴出率^{11,7)}との関係を調べた。その結果を Fig. 6 に示す。溶岩噴出率の低下に対応して、地盤の沈降速度も減少していることが分かる。深部からのマグマの供給が停止しているならば、噴出率と地盤の沈降速度の間には比例関係が成り立ち、両者の比は全期間をとおして一定になることが期待される。しかし、この図を見る限りその比は変化している。例えば、噴出率が高い期間Ⅲではその比が約1/3であり、噴出率が低下した1992年の期間Ⅴでは約1/10である。その比を一定に保つには、深部からのマグマの供給の継続、つまり、潜在的には地盤はある速度で隆起することを前提としなければならないであろう。

そこで、噴出率と地盤の沈降速度の比が一定である仮定して、潜在的隆起速度を見積もってみた。測量期間毎の地盤の変動率と対応する期間の溶岩噴出率との関係を Fig. 7 に示した。桜島で経験的に得られた地盤の沈降容積と噴出物体積の比1/2が雲仙岳でも適用されるものと仮定して、溶岩噴出開始後の3つの期間の数値に適合する勾配 -0.5 の直線を求めた。その直線を実線で図中に示した。縦軸と交差する点の値が潜

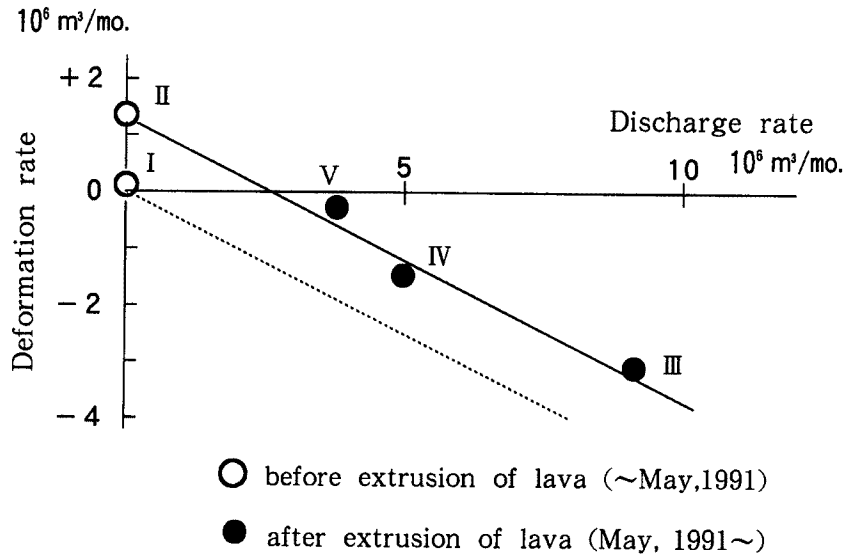


Fig. 7. Deformation rate of the ground surface versus averaged discharge rate of lava during corresponding periods.

在的な地盤の隆起率を与える。その値は $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mo.}$ であり、溶岩噴出直前の期間IIの隆起率とほぼ一致する。つまり、深部からの雲仙岳地殻上部へのマグマの供給は溶岩噴出直前約6ヶ月間とほぼ同じ割合で続いていると推定される。また、この図からは、図中の直線が横軸と交差する点の溶岩噴出率（約 $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mo.}$ ）を下回った時点でマグマの蓄積量の増加がはじまり、地盤は隆起に転じることが読み取れる。もし、今後、噴出率がこの値を下回っても、それに対応した地盤の隆起が測定されなければ、その時点で深部からのマグマの供給は減少あるいは停止したと判断される。いづれにしても、1990年11月から1992年9月までの約2年間の地殻下部あるいはマントル上部からのマグマの供給率は $(1 \sim 2) \times 10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ と推定される。

4. 議 論

これまでの解析結果のまとめとして、地盤変動から推定される雲仙岳の巨視的なマグマ供給系とマグマの供給・蓄積・噴出状態を、1991年5月の溶岩噴出開始の前と後に分けて模式的に示した (Fig. 8)。

普賢岳西方の地殻上部にマグマ溜りが存在すると推定されている。この地殻上部の溜りへ流入するマグマの源は、現在の測地測量網では検知できない場所にある。現在の火山学が島弧火山のマグマ供給系に対して持っている image からいえば、地殻下部あるいはマントルと地殻の境界付近にその源があると考えられる (例えば、Fedotov¹⁷⁾。

1990年11月の噴火以前約4年間の地殻上部のマグマ溜りへの供給率は $10^4 \text{ m}^3/\text{mo.}$ であったが、その噴火発生の前後から供給率が $(1 \sim 2) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mo.}$ に増大したと推定される。溶岩の噴出率は1991年5月下旬から約8~9ヶ月間は約 $1 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{mo.}$ のレベルを保ったが、その後は減少傾向をたどってきている。一方、マグマの供給率は溶岩噴出開始以降も1992年9月まで $(1 \sim 2) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mo.}$ のレベルを維持していると考えられる。今後も深部からのマグマの供給率が現在のレベルを保ち続ければ、長期的にみて $10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ の溶岩噴出活動が続くと予想される。

今回の雲仙岳の活動は、現在の火山学の知識から見て、どのように理解されるのであろうか。マグマの噴出率および供給率について、他の安山岩質~デイサイト質の複成火山の例と比較して考察する。

Nakamura¹⁸⁾ は、伊豆大島について約1500年間の噴出物の累積曲線を示し、噴火は $10^1 \sim 10^2$ 年間隔で不連続的に発生しているが、 10^3 年にわたる平均的な玄武岩質マグマの噴出率はほぼ一定の割合であることを示

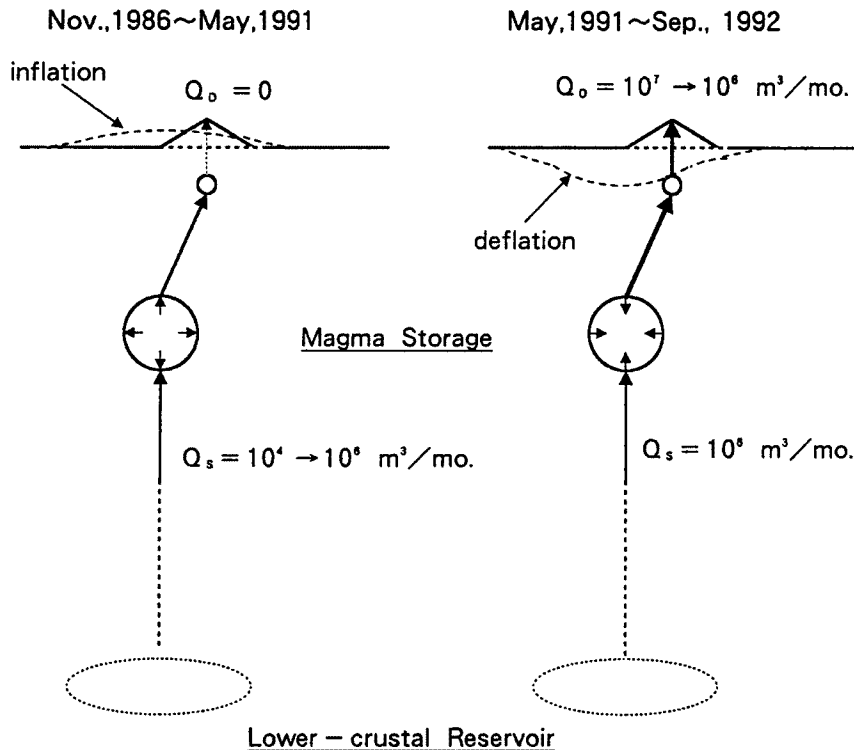


Fig. 8. Schematic illustration on the magmatic system of Mt. Unzen and subsurface magma flows related to the recent activity.

した。伊豆大島の例にならって、雲仙岳の有史時代の噴出物量の累積曲線を作成してみた (Fig. 9)。歴史上最初の噴出は1663-1664年に発生しており、約 $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ の安山岩質溶岩 (古焼溶岩) を流出した。その128年後の1792年の噴火では約 $3 \times 10^7 \text{ m}^3$ のデイサイト質溶岩 (新焼溶岩) を流出した。今回の噴火は、前回の噴火の199年後の1991年5月からデイサイト質溶岩を流出し始め、翌1992年11月までにその量は約 $1.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ に達している。長期間の傾向として、噴火の度に順次噴出溶岩量が急速に増大していることが指摘できる。17世紀以前には噴火記録はない。今村¹⁹⁾ は、679年の筑紫大地震の震源地を島原半島と考え、1792年の眉山崩壊と同様の事態が発生したと推論している。この地震が雲仙岳の火山活動と関連したとしても、約1000年間の噴火休止期があったと考えられる。長期の活動休止と最近300年間の3回の噴火の度の溶岩噴出量の急増は、伊豆大島の傾向とは大きく異なる。

桜島についての過去約1000年間の活動による噴出物の質量累積曲線を Fig. 10 に示す²⁰⁾。注目されるのは、7世紀の一連の顕著な噴火活動の後、約700年間の休止期があり、その後の500年余の間に約 4 km^3 相当の安山岩質マグマが溶岩あるいは軽石・火山灰として噴出されていることである。しかも、噴出率が漸次増加する傾向が認められる。この図と Fig. 9 を較べてみると、長期の休止期間およびその後の噴出率の増大傾向という共通点が認められる。また、デイサイト質火山の有珠山では、1663以降 $10^1 \sim 10^2$ 年の間隔で7回の噴火活動および dome 形成活動が記録されているが、地質学的研究によれば16世紀以前には長い活動休止期があったと推定されている²¹⁾。 10^3 年の時間スケールで見ると、桜島の15世紀の一連の噴火や有珠山および雲仙岳の17世紀の噴火は、一輪廻の火山活動の最初の噴火であると思われることができるかもしれない。

Wadge²²⁾ は、 $10^2 \sim 10^3$ 年の活動休止の後、今世紀に噴火が始まり10年以上にわたりほぼ定常的な活動を続けている安山岩質～デイサイト質火山の例として、Costa Rica の Arenal 火山と Guatemala の Santa Maria 火山の Santiaguito dome 等を挙げている。両火山の平均的なマグマの噴出率は $10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ である。桜島

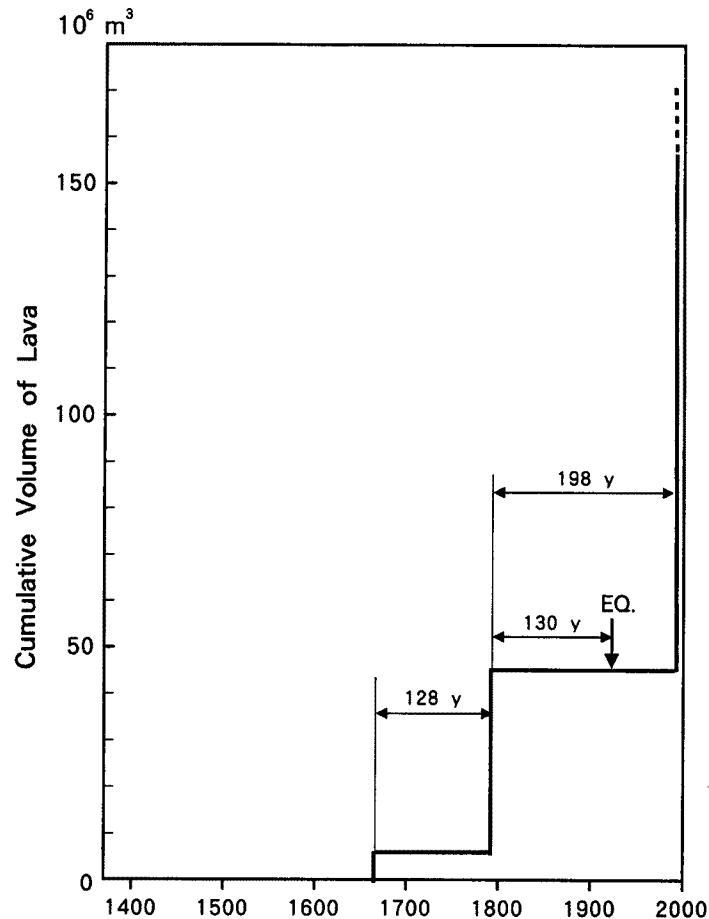


Fig. 9. Cumulative volume of extruded lava at Mt. Unzen during the historic time. EQ. denotes the destructive earthquakes ($M = 6.9$) originated west of Shimabara peninsula in 1922.

では、1974年以降、 $10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ の火山灰を放出する山頂噴火活動が19年にわたって続いている。わが国や国外の最近の事例からみて、今回の雲仙岳のような安山岩質～デイサイト質の複成火山が $10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ のマグマの放出率を示した場合、 $10^1 \sim 10^2$ 年にわたり活動が継続する可能性があることが経験的に指摘できる。

ここで、前述の Santiaguito の1922～1972年のマグマ噴出率の変化を Fig. 11 に示す。Rose²³⁾ によれば、1922～25年の最初の溶岩ドーム成長期以降、溶岩ドーム活動を4回繰り返している。その間に溶岩の流出活動が生じている。また、火砕流や噴火が頻繁に発生している。噴出したマグマの大半（8割以上）が溶岩ドームと溶岩流によるものである。1922～25年の噴出量は 0.2 km^3 であり、当初の3年間の平均噴出率は約 $6 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ と見積られている。この値は、雲仙岳の1.5年間の溶岩噴出率 ($1.2 \times 10^8 \text{ m}^3/1.5\text{y} = 8 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{y}$) とよい一致を示す。また、Santiaguito の1922年から1972年まで50年間のマグマの平均噴出率 $1.4 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ は、本稿で見積った雲仙岳の深部からのマグマ供給率とほぼ一致している。なお、米国の St. Helens 火山は1980年に巨大噴火を生じた後、溶岩ドームの成長と崩壊を約6年間にわたり繰り返したが、当初の1年間の溶岩噴出率は約 $2 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ であり、雲仙と比べて小さい²⁴⁾。

本稿で見積った雲仙岳のマグマ供給率は、桜島・始良カルデラにおけるマグマ供給率とほぼ同じである。最近約100年の間、始良カルデラの地盤は、1914年および1946年の山腹噴火の際には急激な沈降を示し、噴火活動の休止期間は $(1 \sim 2) \times 10^7 \text{ m}^3/\text{y}$ の割合で隆起運動を行ってきた。また、静穏期の地盤の隆起速度に見合う割合で、ほぼ定期的に山頂火口から火山灰が放出されている1974年以降の約19年間は地盤の隆起運動の

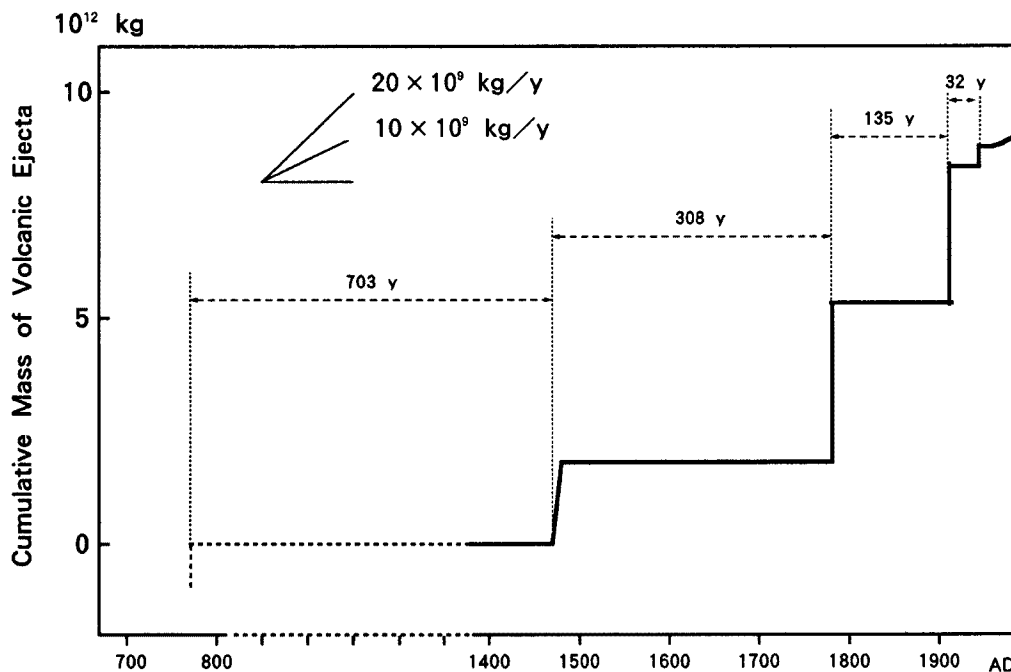


Fig. 10. Cumulative mass of extruded magma at Sakurajima volcano during the historic time (Ishihara, 1991).

停止・緩やかな沈降が確認されている。以上の経過は、佐々ら^{25)–27)}が指摘した深部からのマグマの定常的な供給が1世紀にわたり続いていることを示している。更に、加茂・石原²⁷⁾および Yokoyama²⁸⁾は、過去に遡った地盤変動を復元し、深部からのマグマの供給率が数世紀にわたってほぼ一定に保たれている可能性を示した。

以上述べてきた他の火山の例から類推して、雲仙岳の活動が 10^1 年続く可能性はあるといえる。火山活動継続の条件は深部からのマグマの供給である。Fig. 8で示したようなマグマの供給系を想定すると、約2年間維持してきた $(1\sim 2)\times 10^7\text{ m}^3/\text{y}$ のマグマの供給率が急激に減少し、マグマの上昇が停止する可能性はあるであろうか。

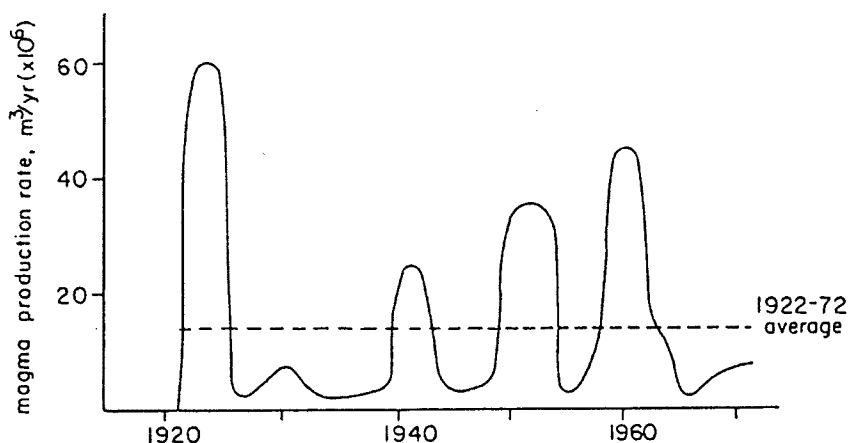


Fig. 11. Estimate of the magma extrusion rate during the historic activity of Santiaguito, Guatemala, 1922–1972 (after Rose, 1973).

Fedotov¹⁷⁾ は地殻中の円筒状の火道内をマグマが冷却を受けつつ上昇する場合についてモデル計算を行っている。彼は、大陸地殻中を上昇する安山岩質およびデイサイト質マグマの場合、それぞれ、 $(8\sim 9)\times 10^6$ m^3/y 及び $(4\sim 5)\times 10^6$ m^3/y の以上のマグマ供給率があれば、定常的なマグマの上昇が続き、それ以下の供給率であれば、間欠的、あるいは散発的な活動となるという結論を導いた。Fedotov は、このモデルがカムチャッカの火山群の活動様式の評価に適用できることを示した。Santiaguito や Arenal の噴出率と同様に、桜島および雲仙岳について推定されたマグマの供給率も、Fedotov の示した定常的な活動に必要なマグマ供給率を満足している。もし、雲仙岳で、短期間 (10^0 年) の内に、外的な要因 (例えば、顕著な地震等テクトニックな場の変化) なしにマグマの供給が停止したとすれば、雲仙岳の火山活動に係わる low-crustal reservoir の容量が桜島・始良カルデラのそれに較べて小さいということかもしれない。いずれにしても、雲仙岳の今後の活動の推移は火山学および火山噴火予知研究にとって興味深い研究対象である。

5. ま と め

1986年11月から1992年9月までの水準測量結果と1991年5月下旬以降の噴出溶岩量の計測結果を用いて、この間の雲仙岳地殻上部におけるマグマの収支を検討してみた。主な結論は下記の通りである。

- (1) 雲仙岳地殻上部のマグマ溜りでのマグマの蓄積は、1990年11月の最初の噴火以前からはじまっていた。その蓄積量は、1991年5月の溶岩噴出以降減少傾向をたどっている。
- (2) 深部からのマグマの供給率は、1990年11月頃から $(1\sim 2)\times 10^6$ m^3/mo . 増大し、1992年9月まで約2年間そのレベルを維持してきた。

以上の結果をふまえて、 10^1 年にわたり定常的な噴火活動を続けているいくつかの安山岩質～デイサイト質火山のマグマ噴出率および供給率と比較してみた。それらの火山はいずれも雲仙岳と同等の 10^7 m^3/y の平均的な噴出率あるいは供給率を示している。今後の雲仙岳の火山活動の推移は、マグマ供給システムの実体を解明する上で注目される。

本研究を進めるにあたり、加茂幸介教授からは、終始貴重な助言を頂いた。本稿の基礎資料である水準測量データは国立大学合同観測班測地グループ及び国土地理院によって得られた。また、噴出溶岩量の計測は国土地理院によってなされてきた。1986年から水準測量を実施してこられた江頭庸夫氏はじめ桜島火山観測所と九大島原地震火山観測所の諸氏、および1991年以降の調査に合流頂いた北大有珠火山観測所、東大浅間火山観測所、名大地震火山観測地域センター、京大火山研究施設と鹿児島大学理学部の諸氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 国土地理院：雲仙岳の最近の溶岩噴出量の計測，1992年12月11日公表資料。
- 2) 大学合同観測班地球物理班：雲仙火山1990～1992年噴火の地球物理観測(その1)，火山，第37巻，1992，pp. 209-215。
- 3) 大学合同観測班地質班：雲仙火山1991年噴火，地質観察記録(その1)，火山，第37巻，1992，pp. 47-53。
- 4) 大学合同観測班地球化学班：雲仙火山の火山活動と地球化学的観測，火山，第37巻，1992，pp. 103-108。
- 5) Sato, H., Fujii, T. and Nakada, S.: Crumbling of dacite dome lava and generation of pyroclastic flows at Unzen volcano, Nature, Vol. 360, No. 6405, 1992, pp. 664-666。
- 6) 太田一也：雲仙岳，長崎県，1984，98 p.
- 7) 長岡正利・益田幸雄：雲仙岳1990～92年噴火の溶岩噴出量の計測，国土地理院時報，第75号，1992，pp. 19-25。

- 8) 中田節也：雲仙火山の噴火と予知，月刊地球，号外 No. 7, 1993, pp. 41-49.
- 9) 石原和弘・江頭庸夫・西 潔・加茂幸介：雲仙火山眉山及びその周辺の地盤変動調査，平成2年度科研費・総合研究(A)・研究成果報告書「雲仙火山眉山の地学的・土質工学的環境の基礎的調査研究」(研究代表者 加茂幸介)，1991, pp. 36-41.
- 10) 京都大学防災研究所附属桜島火山観測所：雲仙岳周辺の地盤変動(1991年)，火山噴火予知連絡会会報，第51号，1992, pp. 74-79.
- 11) 京都大学防災研究所附属桜島火山観測所：雲仙岳周辺の地盤変動(1986年11月～1992年2月)，火山噴火予知連絡会会報，第53号，1992, pp. 74-79.
- 12) 合同観測班・測地グループ(加茂幸介他)：雲仙岳の火山活動に伴う地盤変動，平成3年度科研費・総合研究(A)・研究成果報告書(研究代表者 太田一也)，1992, pp. 29-42.
- 13) 江頭庸夫・清水 洋・福井理作・桑原総一・園田忠惟：雲仙地溝における垂直変動，自然災害科学研究西部地区会報，4号，1987, pp. 75-78.
- 14) 斎藤英二・渡辺和明・須藤 茂・星住英夫・遠藤秀典：光波測距による普賢岳の山体変動の測定，日本リモートセンシング学会誌，第11巻，1991, pp. 495-498.
- 15) 清水 洋・石原和弘・井口正人・植木貞人・小野博尉・宮町宏樹・山科健一郎：雲仙火山山頂部における傾斜の多点観測，平3年度科研費・総合研究(A)・研究成果報告書(研究代表者 太田一也)，1992, pp. 43-49.
- 16) 山科健一郎・井上義弘・清水 洋・松尾訓道：雲仙火山の噴火と傾斜変動，平3年度科研費・総合研究(A)・研究成果報告書(研究代表者 太田一也)，1992, pp. 50-59.
- 17) Fedotov, S. A.: Magma rates in feeding conduits of different volcanic centers, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 9, 1981, pp. 379-394.
- 18) Nakamura, K.: Volcano-stratigraphic study of Oshima volcano, Izu, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 42, 1964, pp. 649-728.
- 19) 震災予防協会編：大地震の前兆に関する資料(今村有恒博士遺稿)，1977, 170 p.
- 20) Ishihara K.: Magma supply, storage and discharge at Sakurajima volcano, Japan, Proc. Symp. on Dynamics of Subduction and its Product, Indonesian Institute of Science, 1991, pp. 195-203.
- 21) 横山 泉・勝井義雄・大場与志男・江原幸雄：有珠山，北海道防災会議，1973, 254 p.
- 22) Wadge, G.: Steady state volcanism: Evidence from eruption histories of polygenetic volcanoes, Jour. Geophys. Res., Vol. 87, 1982, No. B5, pp. 4035-4049.
- 23) Rose, W. I.: Pattern and mechanism of volcanic activity at the Santiaguito Volcanic Dome, Guatemala, Bull. Volcanol, Vol. 37, 1973, pp. 73-94.
- 24) Swanson, D. A. and Holcomb, R. T.: Regularities in Growth of the Mount St. Helens Dacite Dome, 1980-1986, Lava Flows and Domes (ed. J. H. Fink), Springer-Verlag, 1990, pp. 3-24.
- 25) 佐々憲三：地震予知に関する2,3の問題(Ⅱ)，京都大学防災研究所創立5周年記念論文集，1956, pp. 3-5.
- 26) 加茂幸介：桜島における噴火の前駆現象と予知，火山，第23巻，1978, pp. 53-64.
- 27) 加茂幸介・石原和弘：地盤変動からみた桜島の火山活動，桜島地域学術調査協議会研究報告，1980, pp. 19-27.
- 28) Yokoyama, I.: Crustal deformation caused by the 1914 eruption of Sakurajima Volcano, Japan and its secular changes, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 30, 1986, pp. 283-302.