

桜島火山の溶岩流 (I)

—有史時代の溶岩流の容積—

石原 和弘・高山 鉄朗・田中 良和
平林 順一

LAVA FLOWS AT SAKURAJIMA VOLCANO (I) —VOLUME OF THE HISTORICAL LAVA FLOWS—

By *Kazuhiro*, ISHIHARA, *Tetsuro* TAKAYAMA, *Yoshikazu* TANAKA
and *Junichi* HIRABAYASHI

Synopsis

The thickness and the volumes of the recent two lava flows (in 1914 and 1946) at Sakurajima Volcano are reexamined in details on the basis of the three topographic maps (published in 1909, 1920 and 1965) and two hydrographic charts (published in 1899 and 1975). Furthermore, the topographic features of the 1914 submarine lava-field has been clarified by echo-sounding. The volume of the 1914 lava flows and that of the 1946 lava flows have been estimated to be 1.34 km³ and 0.18 km³, respectively. Omori (1914) and Koto (1916) estimated the volume of the 1914 lava flows to be 1.56 km³ and 1.14 km³, respectively. Judging from the results of echo-sounding on the submarine lava-field, it is concluded that Omori overestimated the mean thickness of the lava flows and Koto, on the contrary, estimated it too little.

The volumes of the two historical lava flows are also estimated, assuming the position of the topographic contours on the lava-fields before the eruptions under the condition that the volcano is a stratovolcano. The values of 0.5 km³ and 1.7 km³ have been obtained, as the first approximation, about the Bun'nei lava flows (1471-76) and the An'ei lava flows (1779), respectively.

1. はじめに

過去の火山活動による噴出物の調査は主として地質学の研究課題とされ、地質学の研究者はそれぞれの火山の発達史を論じてきた。地球物理学的観測にもとづく火山の噴火現象の研究は、計測結果の分析に主眼をおいており、観測の歴史が短いこともあって、噴出物量についての独自の調査研究は副次的な研究課題とされ、ともすれば軽視されがちであった。

桜島附近では1891年に最初の水準測量が実施されて以来、比較的高い頻度で再測が繰り返されている。この間に、2度の溶岩流出を伴う山腹噴火(1914年および1946年)と山頂噴火活動のピークを2回(1960年および1974年)経験している(Fig. 1)。その結果、始良カルデラの地盤の隆起・沈降と噴火活動の間には密接な対応関係があることがわかってきた¹⁾。地盤変動と噴火活動による噴出物の量的関係に着目して、地盤変動のメカニズムを解明することが重要な研究課題になってきている²⁾。

Omori³⁾ および Koto⁴⁾ は、1914年の溶岩流の容積をそれぞれ 1.56 km³ および 1.14 km³ と見積っている。両者の値の差は、主として桜島南東海域の海面下の溶岩流の堆積厚の推定値の違いから生じている(Table 1)。Omori が平均層厚を全域にわたり 100 m としているのに対して、Koto は3つの部分に分けそれぞれに平均層厚を与え容積計算を行った。1946年の溶岩流については、萩原⁵⁾ らが火口からの溶岩の流量

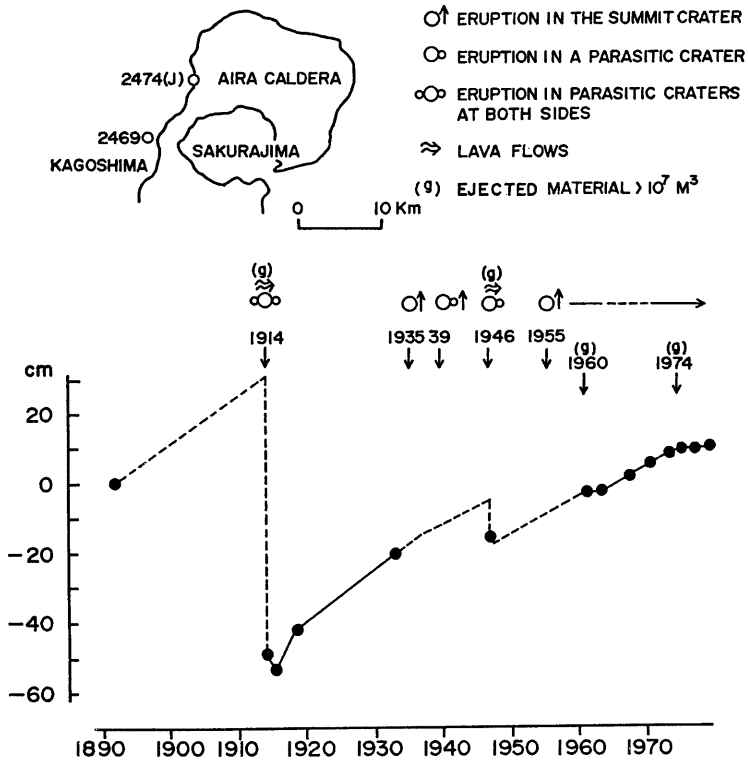


Fig. 1. Changes of the relative height of BM 2474 referred to BM 2469.

Table 1. Dimensions of the eastern lava-field (after Koto, 1916).

Author	Area	Thickness	Volume
Koto	5.40 km ² Lava-field on land	40 m	0.2160 km ³
	1.886 Lava-field in sea	100	0.1886
	2.738 Submarine flow on S.	100	0.2738
	1.115 Submarine flow on E.	50	0.0558
	4.238 Outer mud shoal	28	0.1187
			0.8529
Omori	5.25 Lava-field on land	40	0.21
	2.19 Lava-field in sea above sea-level	100	0.219
	7.97 Lava-field below sea-level	100	0.797
			1.1226

と流出期間からその容積を 0.1 km^3 と見積っている。原田⁶⁾ は地形図から 0.09 km^3 という値を求めているが、算出手順は示されていない。このように近年の2つの溶岩流については、その容積の見積り値あるいは見積り方法にいくつかの問題が残っている。

前述したような地盤変動と噴出物との量的関係を検討する場合には、可能なかぎり噴出物の量を確定しておく必要がある。そこで、近年の2度の山腹噴火による溶岩流の容積を溶岩流の堆積する前後の地形図を手掛りに再見積りを行い、他の研究者によって得られた値と比較検討することとした。なお、桜島南東海域については海底地形の調査を行い、1914年の溶岩流の堆積厚を推定する基礎資料とした。

2. 溶岩流の容積の見積り方法

桜島およびその周辺の海域は、1914年および1946年の山腹噴火時の溶岩流による地形変化が顕著であったため、その都度地形（および水深）の再測がなされ、修正された地形図が刊行されている。従って、噴火前後の地形図を比較して、溶岩流の分布域の各地点の標高変化（あるいは水深変化）を溶岩流の堆積厚と見なし、溶岩流の容積を見積ることとした。陸上部については、明治42年（1909）、大正9年（1920）および昭和40年（1965）発行の5万分の1の地形図（鹿児島7号）を使用した。海底部については、明治32年（1899）および昭和50年（1975）発行の海図221号を基礎資料とした。

先づ、桜島西部の袴腰の三角点と大隅半島側で桜島に最も近い垂水市咲花平の三角点を基準点とし、各地形図上を100m毎の格子に区切った。次に格子点の標高を読み取り、各格子の四隅の格子点の標高の平均値を格子内の平均標高とする。噴火前後の地形図上の対応する各格子の平均標高の差を格子内の溶岩流の堆積厚とし、溶岩流の分布域全体について加算して、その容積を求めた。

実際には、原地形図（1/5万）を1万分の1に拡大した上で、等高線を補間してm単位で標高の読み取りを行った。海底部については、海図に等深線を記入して、m単位で読み取った。海図に記載された水深値の数は多くはなく、各格子点の水深読取値にはかなりの誤差が見込まれるが、1914年の溶岩流が堆積した後の桜島南東部の海域を除けば、海底地形は平坦である。従って、海岸に近い急傾斜面を除けば、水深の読取り誤差は5m未満と考えられる。しかも系統的に読取り誤差が生じる要因は考えられないので、海底部に堆積した溶岩流の厚さ（約100m）を考慮した場合、容量の見積りには誤差として総量の5%未満しか影響を及ぼさないと考えられる。

3. 桜島南海域の海底地形調査

前述したように、桜島南東海域は1914年の溶岩流が広範囲にひろがっており、Omori³⁾ と Koto⁴⁾ の堆積厚の推定値に顕著な差が生じている。1914年の溶岩流の容積を見積る場合にはこの部分の溶岩流の堆積厚の評価が特に重要となるので、詳しい海底地形を把握しておく必要がある。そこで、観測艇（19 feet 長）に音響測深機（OSF 5214、発振周波数 180 KHz）を装備して海底地形の調査を行った。

地形図に調査結果を正確に投影できるように考慮して5測線（直線 2~4 km）を設定した。即ち、それぞれの測線の延長線上には特徴的な地形（岬の先端）あるいは工作物（港湾施設等）があるように配慮した。調査作業は次のような方式に従い実施した。

- (1) 測線の延長線上の陸上には誘導員を配置する。望遠レンズを装着したカメラを三脚に固定し、観測艇の航行を監視し、測線上を航行するよう無線電話で指示する。
- (2) 測線全体にわたり観測艇の航行位置が確認できる陸上にはトランシットを固定し、この地点からみた観測艇の航行位置が方位角にして 5° 変化する度に、観測艇へ無線電話で連絡する。
- (3) 測深班は、出発地点の地形図上の位置を測角班および誘導員と連絡をとり確認した上で、陸上の目標物に向け定速（7~9 km/h）で航行し、誘導員の指示に従い操舵する。又、測角班からの合図と同時に測深機の記録紙上にマーカーを入れ、測角地点からみた方位角を記入する（Fig. 2）。

この方法によれば、測深記録紙上の位置と地図上の位置の対応が容易である。各測線の測深結果を地図上に投影して、測線の交差する地点の水深および附近の地形を比較検討したが、矛盾は認められなかった。1975年発行の海図221号と今回の測深結果(1980年11月29日実施)をもとに作製した海底地形図を Fig. 3

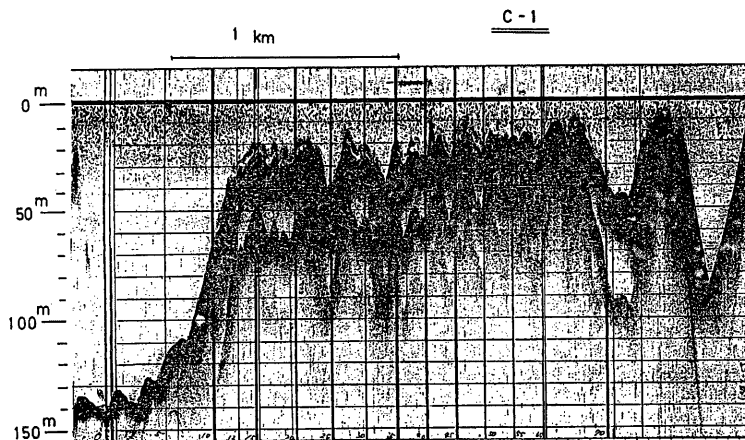


Fig. 2. A fathogram recorded by echo-sounder.

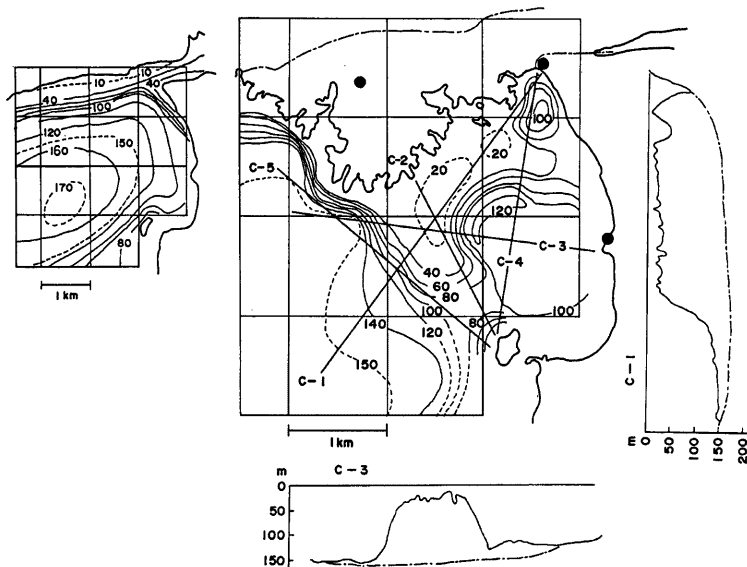


Fig. 3. The topographic maps and the profiles of the 1914 submarine lava-field. The echo-sounding were carried out along the five lines, C-1 to C-5. The topographic map prior to the 1914 eruption is shown on the lefthand.

に示す。比較のために、1899年の海図にもとづく海底地形を Fig. 3 中左に示した。2測線についてはその断面も示してあるが、水深 20~40 m の部分が広範囲（約 2 km²）にひろがっており、その部分での溶岩流の堆積厚は 120~140 m に達していることが判明した。前節で述べた手順で1914年の溶岩流の堆積厚を求める場合には、今回の調査結果 (Fig. 3) を噴火後の海底地形図として使用した。

4. 1914年および1946年の溶岩流の容積

1914年と1946年の溶岩流について、2節で述べた手順に従って求めた溶岩流の層厚分布を噴火前の地形図に投影して、Fig. 4 および Fig. 5 に示した。1914年の溶岩流の容積は 1.34 km³（面積 22.3 km²）と求めた。1946年の溶岩流については 0.18 km³（面積 5.0 km²）を得た。

溶岩流の堆積厚の見積り誤差の要因としては、噴火前後の地盤変動および地形図に記入されている等高線の位置の精度が問題となる。1914年の噴火後、桜島の中央部では 30 cm 程度の隆起、南部の海岸付近では最大 2 m の沈降が生じたことが確認された⁷⁾。桜島の南東部の溶岩流域全体（約 15 km²）にわたり地盤が平均で 1 m 沈降したと仮定しても、溶岩流の容積としては 0.015 km³ 過少に見積ったことにしかならず、その影響はほとんど無視できる。地形図の等高線の精度については適当な評価方法はみあたらない。しかし、一般的に言えば、海岸に近い傾斜の緩やかな部分の方が、山頂部に近い急傾斜面に比べ誤差が小さいと予想される。溶岩流の大半は扇状地等陸上の緩傾斜地および海底の比較的平坦な部分に堆積しているので、溶岩流域全体にわたり 5 m の堆積厚の見積り誤差を見込めばよいと考えられる。堆積厚にして 5 m の見積り誤差があるとすれば、溶岩流の容積としての誤差は1914年の場合で 0.12 km³、1946年の場合は 0.03 km³ となる。

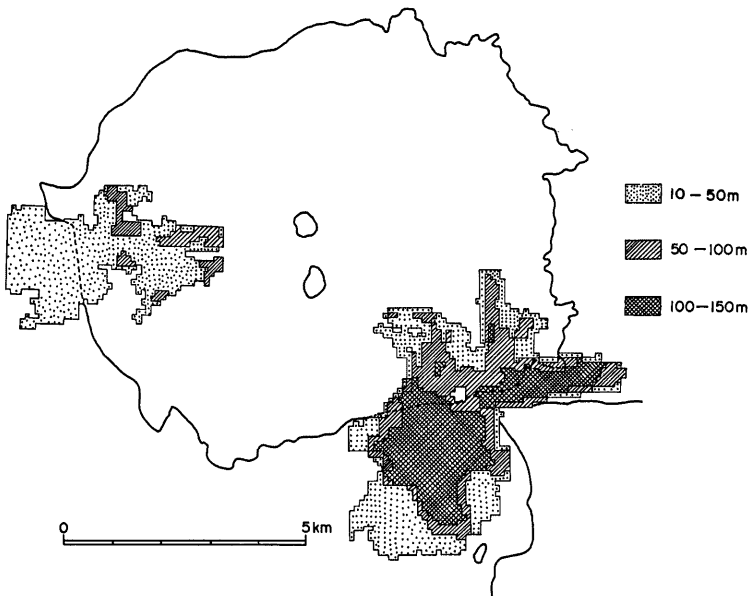


Fig. 4. Distributions of the 1914 lava flows.

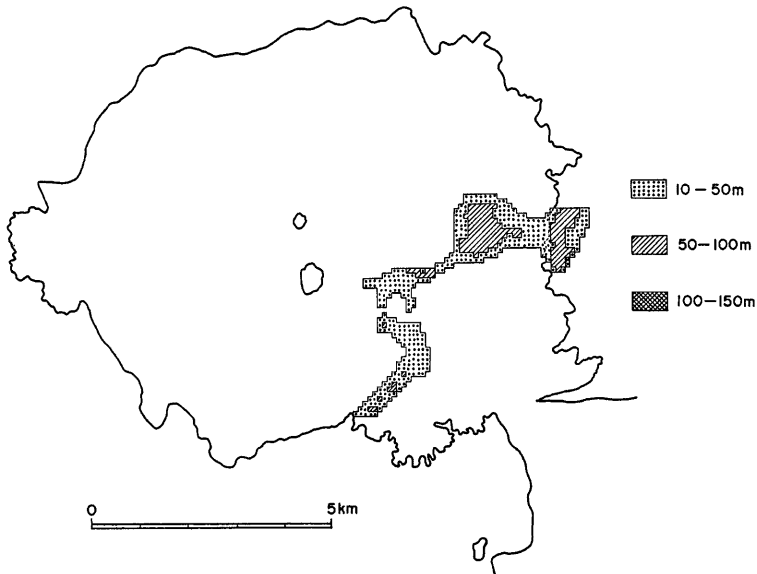


Fig. 5. Distributions of the 1946 lava flows.

1914年の溶岩流の容積の見積り結果を、Omori³⁾ および Koto⁹⁾ の得た結果と並べて **Table 2** に示した。結果として、Omori と Koto の値の平均値に相当する値が得られたことになる。桜島南東海域での今回の海底地形調査から判断すると、Omori は海水面下の溶岩流の平均層厚を全域にわたり 100 m としたため過大な見積り値を得たと考えられる。他方、Koto は堆積厚 100 m, 50 m および 28 m の部分に分け容積計算を行ったが、それぞれの堆積厚を数割程度過少に評価したため小さい値を得たと考えられる。いずれにしても、本稿の見積り値は、Omori および Koto の推定値と比較しても妥当であり、計算手続きを考慮すれば、より根拠のある見積り値であると言えよう。

1946年の溶岩流についてみると、今回得られた値は従来の推定値⁵⁾⁶⁾ (0.09~0.1 km³) に比べ、1.5内至2倍大きいことになる。従来の地形図から計算したとされる推定値⁹⁾ については計算方法が不明であるのに対し、本稿の見積り値は地形図から具体的な手順に従い得られた結果であり、より妥当な推定値であると考えられよう。従来は1946年の溶岩流の容積は1914年の溶岩流の1/10 以下⁹⁾ とされてきたが、今回の見積り結果では1/7 程度となる。

Table 2. Dimensions of the 1914 lava flows.

Authors	Western part	Eastern part	Total volume
Omori (1914)	0.33 km ³ (8.3 km ²)	1.23 km ³ (15.4 km ²)	1.56 km ³
Koto (1916)	0.28 (7.2)	0.86 (11.1)	1.14
Ishihara et al	0.25 (7.4)	1.09 (14.9)	1.34

5. 文明および安永溶岩流の容積の試算

1914年以前の溶岩を流出した山腹噴火としては、文明年間の噴火（1471—76）および安永の噴火（1779）が知られている。桜島火山の地質図はKoto⁴⁾、山口⁵⁾ および福山⁶⁾ によって作成され、文明および安永の溶岩流の分布も記載されている。ここでは最新の福山の地質図をもとにこれらの溶岩流の容積を試算する。

1914年以前の地形図上に文明および安永の溶岩流の分布域を投影して Fig. 6 に示した。北東部の海底地形は国土地理院が1976年に発行した「新島地質図」を参照して記入したものである。この部分の地形は安永年間の海中噴火によって形成されたものと考えられているので、安永溶岩流の一部としてその容積を見積ることとした。

文明および安永の噴火以前には地形図がなく、1914年あるいは1946年の溶岩流と同じ方法は適用できない。ボーリングによる地質調査あるいは物理探査もほとんどなされていないので、現在の地形の特徴から溶岩流の堆積厚を推定し、容積を推算するより外にない。桜島火山は構造上は成層火山であり、北岳、中岳、および南岳を長軸とする楕円形で等高線が近似される。この楕円形からのずれは寄生火山（鍋山、引ノ平等）、北岳北西側の侵蝕谷・扇状地形および山腹から流出した溶岩流に因るものである。また、溶岩流は周囲の地形より低い部分を通して流下する。この2つのことを考慮して、文明および安永の噴火前の地形（等高線）を推定・復元した。Fig. 6 中の点線がそれに相当する。海底部分の溶岩流堆積前の水深は、海図を参考に

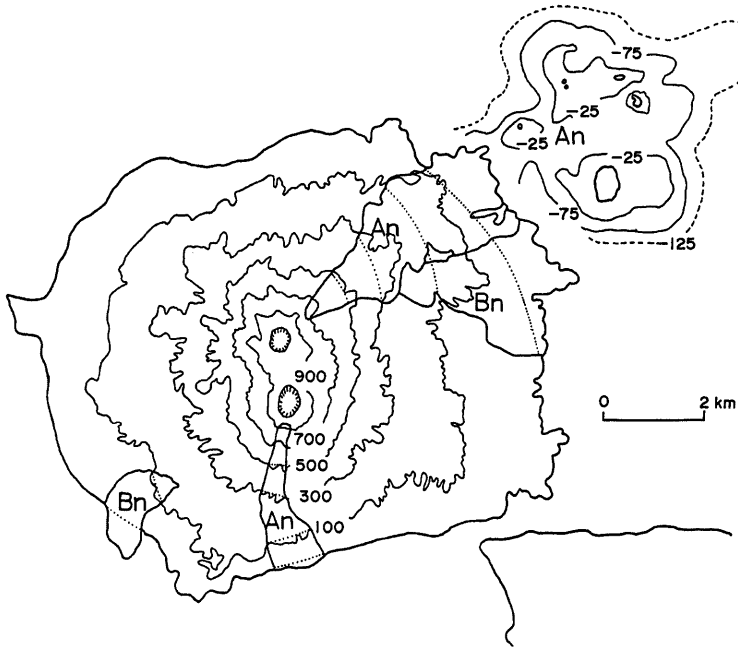


Fig. 6. Distributions of the historical lava flows prior to the 1914 eruption. An represents the An'ei lava flows (1779) and Bn does the Bun-mei lava flows (1471-76). Dotted lines are the assumed topographic contours before these eruptions under the condition that the volcano is a stratovolcano.

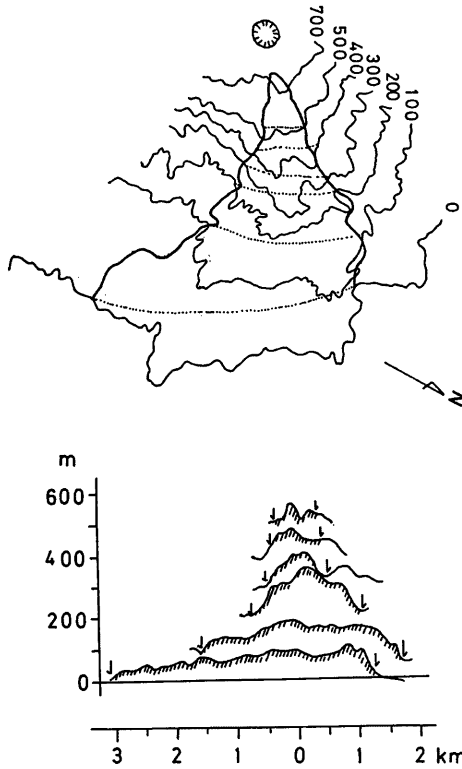


Fig. 7. The topographic feature of the historical lava flows on the northeastern part of the volcano. Profiles are drawn along the dotted lines.

して、桜島北東部を、130 m、南西部を 50 m とみなした。

以上の前提にたてば、溶岩流の堆積厚を推定し容積が計算上求まることになる。桜島北東部を例にとり、溶岩流の堆積厚の推定方法を示す (Fig. 7)。復元した噴火前の等高線 (点線) に沿って現在の地形断面を Fig. 7 中の右に示した。北半分の安永溶岩流に相当する部分についてみると、溶岩流が堆積する前の標高 0, 100, 200 m および 300 m の部分が、現在は 90, 190, 320 m および 390 m であり、溶岩流堆積に因り標高が 90~120 m 程度高くなったことになる。そこで、溶岩流堆積以前の標高 0~100 m に相当する部分の堆積厚を平均 90 m、標高 100~300 m の部分については 100 m と推定した。同様の方法で他の部分についてもそれぞれ溶岩流の堆積厚を推定し容積を見積った。その結果を Table 3 に示した。文明溶岩流の容積として 0.49 km³、安永溶岩流については 1.70 km³ を得た。見積り方法が荒く、数割の誤差は見込む必要があるが、安永年間の海中噴火に因る部分を別とすれば、海水面下に伸びた溶岩流については見積りの対象から除外しており、特に過大な見積り結果にはなっていないと考える。

なお、文明溶岩流については、研究者の間でその分布域についての見解が異なる。福山は分布域を狭く限定しているの、文明溶岩流の容積の見積値は数割程度大きくなる可能性がある。

Table 3. Dimensions of the historic lava-fields.

Era	Area			Thickness	Volume
Bun'mei (1471-76)	NE part	-130- 0 m	1.6 km ²	140 m	0.22 km ³
		0-100	2.3	80	0.18
		100-300	0.3	90	0.03
	SW part	- 50- 0	0.4	60	0.02
		0-100	1.0	40	0.04
	Total		5.6 km ²		0.49 km ³
An'ei (1779)	N part	-130- 0 m	1.3 km ²	140 m	0.18 km ³
		0-100	2.4	90	0.22
		100-300	2.1	100	0.21
		300-	1.5	40	0.06
	Submarine	-130	12	80	0.96
	S part	0-100	0.6	60	0.04
		100-300	0.5	40	0.02
		300-	0.3	30	0.01
	Total		20.7 km ²		1.70 km ³

5. お わ り に

地形図にもとづき桜島火山の有史時代の山腹噴火による溶岩流の容積をできるだけ具体的な手順で見積った。1914年および1946年の溶岩流については従来より信頼できる推定値が得られたと言えよう。文明および安永溶岩流については、現在のところ、いくつかの前提に基づく試算結果であり、今後の地質調査および物理探査の成果により修正していく必要があろう。

今回得られた溶岩流の容積についての推定値を使えば、山腹噴火の場合の噴出物と地盤変動の関係について、従来なされた議論^{2,6)}よりも、より明確な議論ができることになる。

本調査をすすめるにあたっては、加茂幸介教授からは貴重な御助言を頂いた。厚く御礼申し上げます。なお、本調査に要した経費の一部は科学研究費（自然災害特別研究（I），課題番号302013）によるものである。

参 考 文 献

- 1) 加茂幸介：桜島における噴火の前駆現象と予知，火山，1978，pp. 53-64，
- 2) 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調査研究報告，1980，pp. 19-28.
- 3) Omori, F.: The Sakurajima Eruptions and Earthquakes I, Bull. Imp. Earthq. Inv. Com., Vol. 8, No. 1, 1914.
- 4) Koto, B.: The Great Eruption of Sakura-jima in 1914, Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo, Vol. 38, 1916.
- 5) 萩原尊禮・表俊一郎・村内必典・明石和彦・山田重平：昭和21年の桜島噴火，地震研究所彙報，第24号，1946，pp. 143-159.
- 6) 原田美道：桜島火山近傍の地殻変動に就いて，地理調査所報告，第1巻，1950，pp. 9-15

- 7) Omori, F: The Sakurajima Eruptions and Earthquakes II, Bull. Imp' Earthq. Inv. Comm., Vol. 8, No. 2, 1916.
- 8) 山口鎌二：桜島火山の研究，日本地学教育学会，1975.
- 9) 福山博之：桜島火山の地質，地質学雑誌，第84巻，1978, pp. 309-316.