

# 雲仙岳溶岩の粘性と流出率, ドームの安定性\*

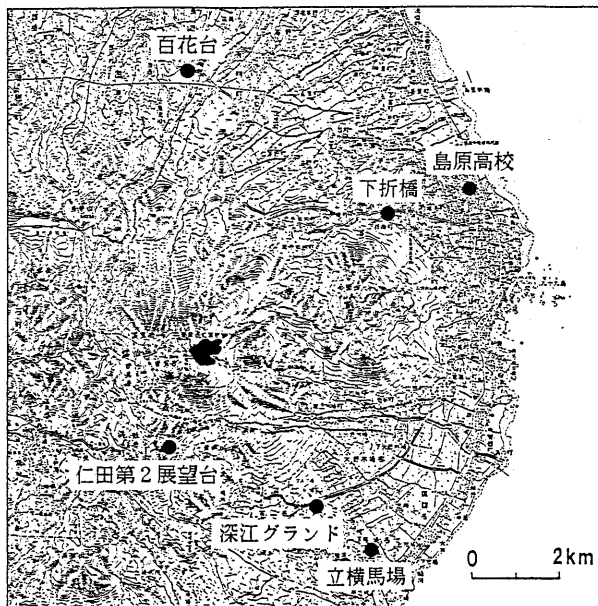
気象研究所  
雲仙岳測候所

## 1. はじめに

雲仙岳溶岩ドームのセオドライト観測および写真解析により, 溶岩の粘性係数, 流出率を見積り, ドームの安定性を検討した。

ドーム上に選んだ特徴的な点の天頂角, 水平角を繰り返し測定することでその点の見かけの移動速度が求められる。写真からも同様の方法で移動速度を求めることができる。この場合, 明瞭な固定点を写野内に設定する必要があるが, 適当な点を選ぶことは困難で, セオドライトで観測を行った点を基準にとることで対処した。測量には測機舎 TM 6 を用い, 並行して 600mm または 300mm 望遠レンズを装着した 35mm カメラによりドームの拡大撮影を行った。

観測は 1991 年 6 月～8 月と 1992 年 2 月に実施した。第 1 図に観測地点の位置を, 第 1 表に観測地点毎の観測日を示した。島原高校および百花台においては写真撮影のみ行った。島原高校では自動写真撮影装置を用い, 1 日 1 回フィルム交換を行うことで日中 15 分間隔の写真が得られた。



第 1 図 観測点配置。溶岩ドームは 1992 年 2 月 19 日の状態 (国土地理院による)

Fig. 1 Map of theodolite and photo observational sites.

\* Received 27 Apr., 1992

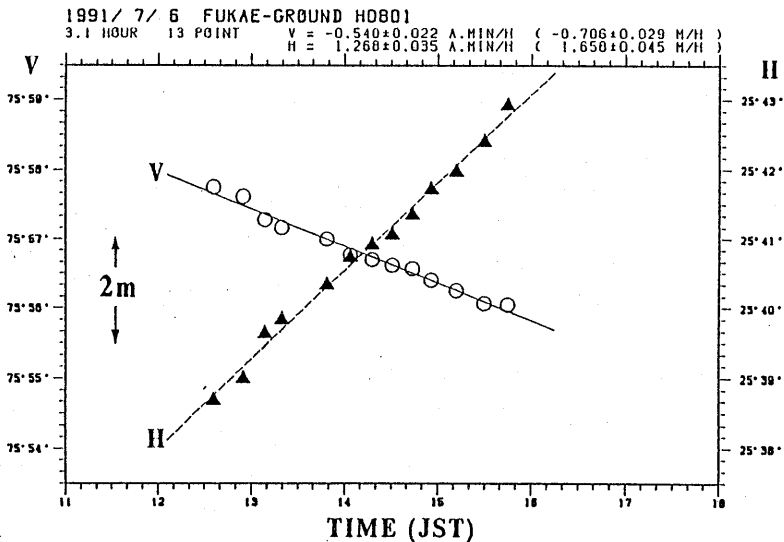
第1表 観測点毎の観測日

Table 1 Observational sites and dates of theodolite and photo observation.

観測地点	地獄跡火口からの		観測日
	方向	距離	
仁田第2展望台 NT2	E 109° S	2.3km	June 14, Aug. 19, 24, Sep. 1, 1991 Feb. 22 and 23, 1992
立横馬場 TYB	E 44° S	5.8km	June 14 and 16, 1991
深江グランド FKG	E 54° S	4.4km	June 21, 22, July 3, 6, Aug. 10, 11, 1991 Feb. 19 to 23, 1992
下折橋 SOH	E 36° N	5.2km	Feb. 19 and 20, 1992
島原高校 SHS	E 30° N	7.0km	Feb. 18 to 23, 1992 (photo only)
百花台 HKD	E 92° N	6.1km	Feb. 18 and 19, 1992 (photo only)

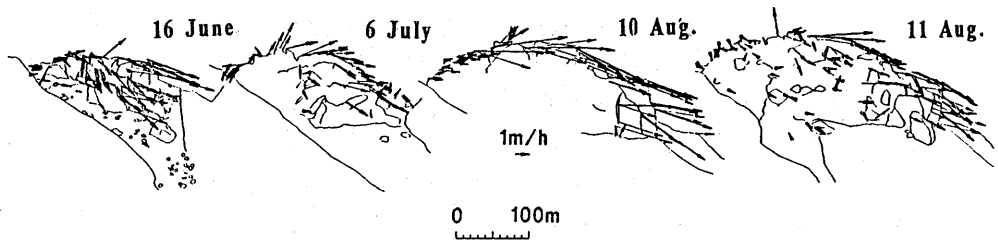
2. 1991年6月～8月第1, 第2ドームの観測

7月6日のセオドライトによる測定例を第2図に示す。対象とした点は第2ドームの頂部であり、右上向きに移動していることが分かる。この例のように第2ドーム上の溶岩塊は測定の間(最長6時間)滑らかに一定の速度で移動していた。しかし、第1ドームの移動は全く認められなかった。セオドライト観測および写真解析から求められた第2ドームの移動速度の分布を第3図に示す。先



第2図 セオドライトによる溶岩ドームの移動の測定例。  
Vは天頂角, Hは水平角

Fig. 2 An example of theodolite observation of lava dome (July 6, 1991).  
V and H denote zenith and horizontal angle respectively.



第3図 溶岩ドームの移動速度の分布 (1991年)。東西面内で移動しているとして求めたベクトル。

Fig. 3 The displacement velocity for several marked points on the dome (in 1991). It is assumed that the dome moves only in a vertical plane in east-west direction.

端部については南東方向に成長しているが、ここではすべての点が東西面内で移動しているとして表現している。ドームの中心線上で速く、周辺部分で遅くなっている。移動速度が一定であったことと合わせ、ドームが流体の流れとして運動していることが分かる。

一次近似として流れを Newtonian laminar flow と見なして、粘性係数  $\eta_N$  を

$$\eta_N = \rho g d_0^2 \sin \alpha / 2 u_0 \quad (1)$$

で、溶岩の流出率  $Q$  を

$$Q = 2 u_0 w d_0 / 3 \quad (2)$$

で見積った結果を第2表に示す。ここで  $\rho$  は溶岩の密度で  $2.3 \text{ g/cm}^3$  と仮定、 $g$  は重力加速度  $980 \text{ cm/s}^2$ 、 $w$  は流動部分の幅、 $d_0$  は流れの厚さ、 $u_0$  は表面流速、 $\alpha$  は斜面の傾斜角である。溶岩が地表に顔を見せて約1ヶ月後から2ヵ月間にわたり溶岩の粘性係数は  $1 \sim 2 \times 10^{11}$  poise で変化なく、溶岩の流出率も  $20 \sim 40 \text{ 万 m}^3/\text{day}$  とほぼ一定であったと言える。

### 3. 1992年2月第3～第6ドームの観測

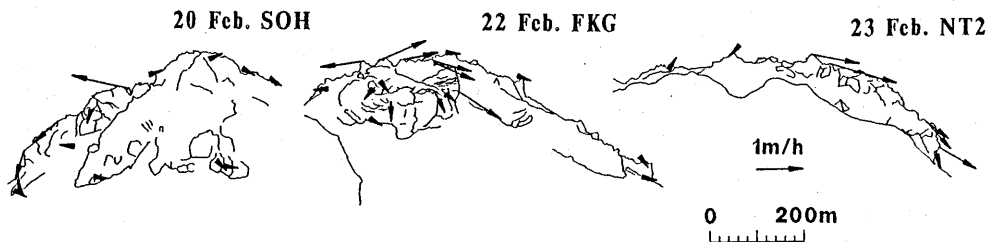
1991年6月～7月の観測では1日毎にドームの形状が変化していたが、1992年2月の観測では、崩落による変形を除きほとんどその形は変化していなかった。数時間の観測で、南東方向に成長している第6ドームと山頂部のドームの一部で移動が認められたが、その他ではほとんど移動は検出されなかった。第6ドームの移動速度は3方向からの測定により、上部で  $1.5 \text{ m/h}$  程度、中間部で  $0.8 \text{ m/h}$ 、最先端部では  $0.4 \text{ m/h}$  あるいはそれ以下であり、その分布は5日間を通じ変化なかった。第4図に測量を行った3地点からの結果の一例を見かけの移動ベクトルで示す。島原高校での6日間の写真や深江グラウンドでの5日間のセオドライト観測から、山頂部のドームは大きく見積って  $1 \sim 2 \text{ m/day}$  の隆起および水平方向への拡大を示しており、東方向に成長し中央部に亀裂が生じた第4ドームの移動速度はそれ以下であった。

第6ドームの流れは中心線上であっても流出点からの距離によって速度が変化しており複雑な様相を示しているが、1991年の場合と同様に(1)式、(2)式を適用し求めた粘性係数と溶岩の流出率を第2表に示した。(1)式を適用することに問題があるものの、粘性係数は1991年に比べ1桁大き

第2表 溶岩ドームの幅 (w), 厚さ (d<sub>0</sub>), 表面の移動速度 (u<sub>0</sub>), 斜面傾斜 (α) と溶岩の粘性係数 (η<sub>N</sub>), 流出率 (Q).

Table 2 Parameters of the Unzen-dake 1991-1992 lava domes.  
 w : width of the flow part of lava dome  
 d<sub>0</sub> : thickness of lava dome  
 u<sub>0</sub> : displacement velocity on surface of lava dome  
 α : angle of slope  
 η<sub>N</sub> : viscosity of lava  
 Q : effusion rate of lava

観測日 Date	幅 w m	厚さ d <sub>0</sub> m	表面流速 U <sub>0</sub> m/h	傾斜 α degree	粘性係数 η <sub>N</sub> poise	流出 Q m <sup>3</sup> /day
1991					× 10 <sup>10</sup>	× 10 <sup>5</sup>
June 16 dome 2	80	40	3.8	30	12	1.9
June 21 "	75	45	4.1	30	10	2.2
July 3 "	115	45	2.8	30	15	2.3
July 6 "	110	45	2.4	30	17	1.9
Aug. 10 "	105	60	4.1	30	18	4.1
Aug. 11 "	105	60	3.6	30	20	3.6
1992						
Feb. 19-22 dome 6	150	95	1.5	30	120	3.4



第4図 溶岩ドームの移動速度の分布 (1992年2月)。見かけのベクトル

Fig. 4 The apparent displacement velocity for several marked points on the dome (in Feb. 1992).

くなっていた可能性がある。第6ドーム以外の溶岩流出率は大きく見積っても10万 m<sup>3</sup>/day 程度であり、すべて合計した溶岩流出率は1991年と変わらず30~40万 m<sup>3</sup>/day を維持していると言える。

#### 4. ドームの安定性, 過去2回の溶岩流との比較

Bingham 流体として見ると降伏応力  $\tau_v$  は  $\rho g d_0^2 / f$  で, 粘性係数  $\eta$  は  $\eta_N (1 - d_0 / f \sin \alpha)$  で与えられる<sup>1)</sup>。ここで  $f$  は非流動部分を含めた幅である。 $d_0 / f \sin \alpha$  は斜面における溶岩流の形状に関する数で Newtonian flow では0で, 流れは定常的で安定したものになり, ブロック状溶岩では

1 となり、流れは非定常で不安定なものとなる。これらの値を1663年の古焼溶岩、1792年の新焼溶岩とともに第3表に示す。古焼溶岩流、新焼溶岩流の幅、厚さ、流出率は駒田<sup>2)</sup>、片山<sup>3)</sup>、太田<sup>4)</sup>、気象庁<sup>5)</sup>の記述、図により推定した。1991～1992年の活動により流出した溶岩の粘性係数は過去の溶岩に比べ1～2桁大きくなっているが、溶岩流出率は同じ桁である。また係数  $d_0/f\sin\alpha$  は過去の溶岩流となった活動に比べ大きく、今回の溶岩の運動がより不安定であることを示している。これらのことが今回火砕流の頻発を引き起こしている一因と考えられる。溶岩ドームの形状を観察することでドームの安定性を把握することができる。

第3表 1991～1992年、1663年、1792年溶岩の粘性係数 ( $\eta_N$ )、マグマ流出率 (Q)、Bingham 流として求めた降伏応力 ( $\tau_U$ ) と係数  $d_0/f\sin\alpha$ 。

Table 3 Parameters of the 1991 - 1992 lava dome, the 1663 lava flow and the 1792 lava flow.

A factor  $d_0/f\sin\alpha$  approaches zero in the case of stable lava flow and it approaches one in the case of unstable block lava.

$\tau_U$  : yield strength

f : width of lava flow included levee.

日付 Date	厚さ $d_0$ m	傾斜 $\alpha$ degree	粘性係数 $\eta_N$ poise	流出率 Q $m^3/day$	幅 f m	降伏応力 $\tau_U$ bar	$d_0/f\sin\alpha$
1991			$\times 10^{10}$	$\times 10^5$			
June 16	40	30	12	1.9	80	4.5	1.0
June 21	45	30	10	2.2	75	6.1	1.2
July 6	45	30	17	1.9	110	4.1	0.8
Aug. 10	60	30	18	4.1	160	5.1	0.8
1992							
Feb. 19-22	95	30	120	3.4	200	10.2	0.9
1663	30-45	20	0.9-4	10	140	1.4-3.3	0.6-0.9
1792	35-39	12	2-6	4	290	0.9-1.2	0.6-0.7

この研究の一部は科学技術振興調整費「雲仙岳のマグマ活動に伴う諸現象に関する緊急研究」によった。

### 参 考 文 献

- 1) G. Hulme (1974) : The interpretation of lava flow morphology, Geophys. J. R. astr. Soc., 39, 361 - 383.
- 2) 駒田久彦雄 (1916) : 温泉岳火山地質調査報文, 震災予防調査会報告, 84, 1 - 108.

- 3) 片山信夫 (1974) : 島原大変に関する自然現象の古記録, 九州大学理学部島原火山観測所報告, 9, 1-45。
- 4) 太田一也 (1974) : 雲仙火山, 長崎県, 1-98。
- 5) 気象庁 (1974) : 日本活火山要覧, 92-93。