

空中写真解析による雲仙火山1991年溶岩噴出活動による地殻変動

安田 聡* 須藤 茂** 遠藤秀典**

YASUDA Akira, SUTO Sigeru and ENDO Hidenori (1993) Ground deformation of Unzen volcano during the 1991 eruption as measured by aerial photograph analysis. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.44(10), p.631-637, 5fig., 1tab.

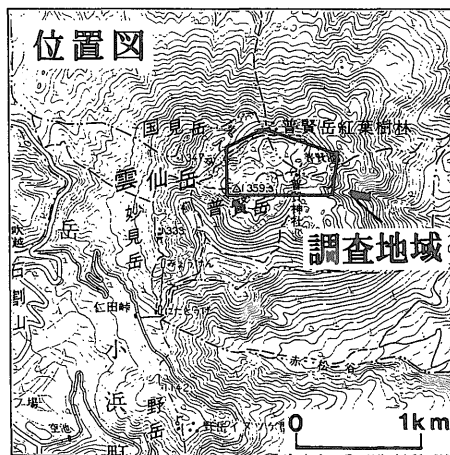
Abstract: Photogrammetric analysis on the summit area of Unzen volcano was carried out to examine the ground deformation which was apparently caused by the volcanic activity, especially at the lava extrusion stage in 1991. Aerial photographs taken on August 1, 1984 and November 21, 1991 were used for the analysis. The first appearance of the lava was reported on May 20, 1991. The instruments, Wild A10 autograph and EK22 analyser, were used for measuring and analysing the aerial photographs. Measurement error was 0.5-0.6m. The photogrammetric analysis demonstrated that areas on the north and the south sides of the crater had moved outward and upward. On the other hand, those in a narrow zone northwest of the crater had moved inward and downward. This westnorthwest-eastsoutheast trending graben was about 250m in width and about 300m in length. Maximum subsidence reached about 12m near the lava dome. Despite this local deformation, no significant changes were detected in the surrounding areas more than one kilometer from the crater. This data indicates that the Jigoku-ato crater centered within the graben which was generated by a dike like magma intrusion.

要 旨

雲仙・普賢岳の1991年の活動による山頂部周辺(第1図)の変動分布を明らかにするために、噴火前及び噴火後に撮影された2時期の空中写真を、精密図化機(ウィルドA10オートグラフ)及び写真座標読取り装置(EK-22)を使用して計測を行った。その結果地獄跡火口を含む幅約250mのグラーベン状の沈降帯の南西側は西ないし南西に、北西側は北に移動し、沈降帯内側は東ないし北東に傾動し、最大12mの沈降が認められた。さらに、溶岩噴出開始後の空中写真の図化からこの沈降帯北縁には長さ約150m、南西縁には約300mにわたる比高約1~3mの低断層崖が存在することが判明した(第4図)。

1. はじめに

雲仙・普賢岳は、1990年11月17日に198年ぶりに噴火活動を開始した。翌年の5月に出現した溶岩ドームは地獄跡火口を埋めつくし、現在(1992年5月10日)もなお噴火活動



第1図 位置図(この地図は国土地理院発行の5万分の一地形図「島原」の一部を使用した)

Fig. 1 Locality map.

Keywords: Unzen volcano, Ground deformation, Aerial photogrammetry analysis

*地質情報センター
**環境地質部

は続いており、頻繁に火砕流を引き起こしている。

1991年5月20日の溶岩噴出開始に先立って、普賢岳南斜面の山体が急激に南方に移動したことが、光波測距の結果明らかにされた(斎藤ほか, 1992)。この移動量の積算値は1mを越えたため、空中写真により検出可能と判断された。そのため筆者らは、活動中の火山体の変動を把握する手法として、溶岩噴出開始前後の空中写真を用いて、地表の変動を計測した(安田ほか, 1991)。その結果普賢岳山体の南部は南西側に、北部は北-北西にそれぞれ移動し、地獄跡火口を含む東西ないし北西-南東方向に伸びる狭い範囲内は沈降したことが明らかにされた。本研究では、この地獄跡火口を含むグラベン状の地域及びその周辺について図化(縮尺 1/2,500)と地形断面計測をおこない、より詳細な沈降範囲及び沈降量を明らかにしたのでここに報告する。

2. 使用した空中写真

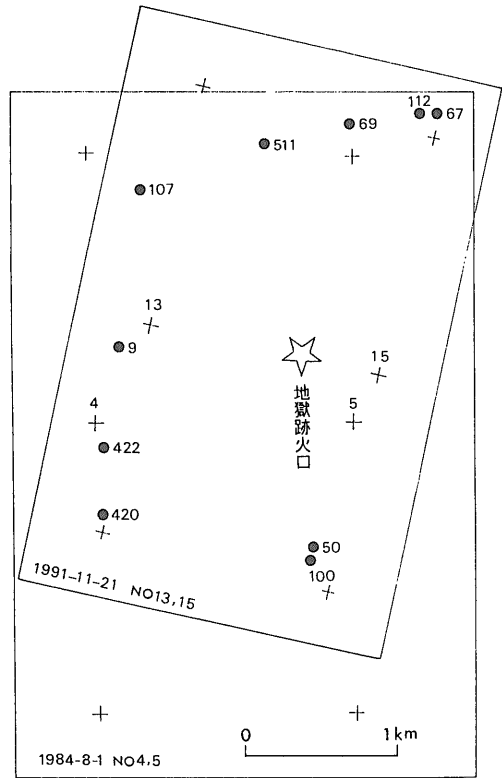
普賢岳山頂部の地獄跡火口を中心に、半径1km以上の範囲が一对の写真に撮影されていることなどを条件に選定した。噴火前の写真は、1984年8月1日に国土地理院が撮影した、縮尺約1/20,000写真(KU-84-6X, 使用カメラ: ウィルド RC10, 画面距離153.28mm, 画面サイズ23×23cm)、噴火後の写真は、1991年11月21日に大成ジオテックが撮影した、縮尺約 1/18,000写真(使用カメラ: ウィルド RC20, 画面距離153.66mm, 画面サイズ23×23cm)を使用した。調査範囲を第1図に示す。

3. 使用機器等

計測点の写真座標 X, Y 及び標高 H の測定には、精密図化機(ウィルド A10オートグラフ)を用い、写真座標の読取りと測地座標の変換には、写真座標読取り装置(EK-22)及びパーソナルコンピュータを使用した。図化機 A10の特徴は、普通角・広角及び超広角レンズによる空中写真や地上写真でも、画面距離85~308mmの投影距離範囲で、写真の大きさが23×23cmまでのあらゆるサイズの写真が図化可能なことである。観測光学系は解像力が高く視野の広い8倍のシステムが採用されており、測標(メスマーク)の大きさは他の図化機と比較して小さい40ミクロンで固定式である。また、本機は地球の曲率や大気屈折による影響の自動補正機構を備えている。

4. 標定用基準点(パスポイント)

1984年撮影の空中写真の対地標定に使用した基準点は、1/5,000 火山基本図(国土地理院, 1985作成)で写真と対応がはっきりできる標高点を選び、図上から座標値



第2図 対地標定に使用した基準点配置図

- : 使用した基準点の位置と番号
- +: 標準的な基準点の位置

Fig. 2 Arrangement of standard points used for determination of absolute orientation.

(X, Y)を読取った。噴火後の空中写真の基準点は、火口から1km以上遠方であり、噴火活動による地形変動が非常に小さいと考えられる場所の建造物及び露岩を選び、1984年撮影のモデル座標を1991年撮影のモデル座標に変換し基準点として使用した(第2図)。

5. 測定精度

1984年撮影の空中写真上のパスポイントでの標準偏差 σ は 0.61m で、1991年11月撮影の空中写真上の標準偏差 σ は 0.54m であった(第1表)。変動量測定は、比較的是っきりしている露岩等を使用したので1m以内の精度は確保されていると思われるが、地形断面計測は、樹木に覆われている地域や急峻な崖のため実体視が不可能な箇所、陰影などで測定困難な所などを考慮すると、2~3mの誤差が含まれているものと考えざるを得ない。写真測量

第1表 対地標定の精度表

Table 1 Precision list of absolute orientation.

作業年月日 1992-01-30
プログラム名 UNZE.P1
地区名 Unzen
使用写真 Taisei Jio no 13-15
作業者名 A-Yasuda

作業年月日 1992-02-12
プログラム名 UNZE.P2
地区名 Unzen
使用写真 KU-84-6X no 4-5
作業者名 A-Yasuda

NO,	Machine coord.		Geodetic coord.		St.
	x	y	X	Y	
1	29000.00	72000.00	28229.20	72925.10	420
2	29981.90	72104.10	27741.00	73004.50	422
3	31571.70	72323.50	26945.20	73111.70	9
4	33941.70	72695.90	25754.30	73249.00	107
5	35200.00	70519.30	25437.80	74466.60	511
6	36074.70	68847.30	25239.80	75389.30	112
7	29370.10	68707.90	28490.30	74560.10	100

NO,	Machine coord.		Geodetic coord.		St.
	x	y	X	Y	
1	30000.00	70000.00	28228.40	72924.20	420
2	35959.70	66219.70	25278.80	74863.90	69
3	35847.20	64645.90	25347.40	75649.40	67
4	29640.50	66680.40	28435.50	74581.70	50
5	34956.00	69432.20	25753.40	73248.70	107
6	32569.70	69668.00	26945.10	73112.00	9
7	30976.80	69855.10	27740.70	73005.50	422

NO,	Trans. coord.		Geodetic coord.		St.
	x	y	X	Y	
1	28228.60	72924.10	28229.20	72925.10	420
2	27741.40	73005.20	27741.00	73004.50	422
3	26945.80	73111.90	26945.20	73111.70	9
4	25753.70	73249.10	25754.30	73249.00	107
5	25438.00	74466.40	25437.80	74466.60	511
6	25239.80	75389.30	25239.80	75389.30	112
7	28490.20	74560.40	28490.30	74560.10	100

NO,	Trans. coord.		Geodetic coord.		St.
	x	y	X	Y	
1	28228.10	72924.50	28228.40	72924.20	420
2	25278.40	74863.80	25278.80	74863.90	69
3	25347.50	75650.00	25347.40	75649.40	67
4	28435.00	74581.70	28435.50	74581.70	50
5	25754.10	73249.00	25753.40	73248.70	107
6	26945.60	73111.50	26945.10	73112.00	9
7	27740.70	73004.90	27740.70	73005.50	422

NO,	dx(m)	dy(m)	
1	-0.576	-0.961	420
2	0.471	0.711	422
3	0.604	0.133	9
4	-0.613	0.109	107
5	0.217	-0.211	511
6	0.016	-0.063	112
7	-0.090	0.328	100

NO,	dx(m)	dy(m)	
1	-0.354	0.297	420
2	-0.436	-0.094	69
3	0.096	0.594	67
4	-0.510	0.023	50
5	0.658	0.242	107
6	0.529	-0.430	9
7	0.039	-0.602	422

$\sigma l = \pm .60865$

Scale= .50019

a = -.482015
b = -.133640
X0 = 51829.2
Y0 = 103754

$\sigma l = \pm .54242$

Scale= .50019

a = -.500125
b = -8.174881
X0 = 43804
Y0 = 107688

の精度は、多くの研究結果からも明らかにされているように、目安として $\Delta S = \Delta H = (H/b) \Delta P$ で計算される(木本, 1970)。位置誤差 ΔS 及び高さの誤差 ΔH は撮影高度 H が大きくなれば大きく、図化機の分解能 ΔP が高ければ小さくなる。ただし、 b は密着写真上での主点間の長さを表す。

6. 普賢岳山頂周辺の地形図作成

図化には縮尺約1/18,000空中写真(大成ジオテック, 1991撮影)を使用し, モデル縮尺を1/10,000, 図化縮尺を1/2,500, 等高線間隔を2mとして図化したものを第3図に示す。また, この写真の解析により, 地獄跡火口の北及び南からそれぞれ西方に伸びる割れ目がよく確認された。北側の割れ目は長さ約150mで南落ち, 南側の割れ目は長さ約300mで北落ちであり。比高はともに1~3mであった。

7. 変動量測定および地形断面計測

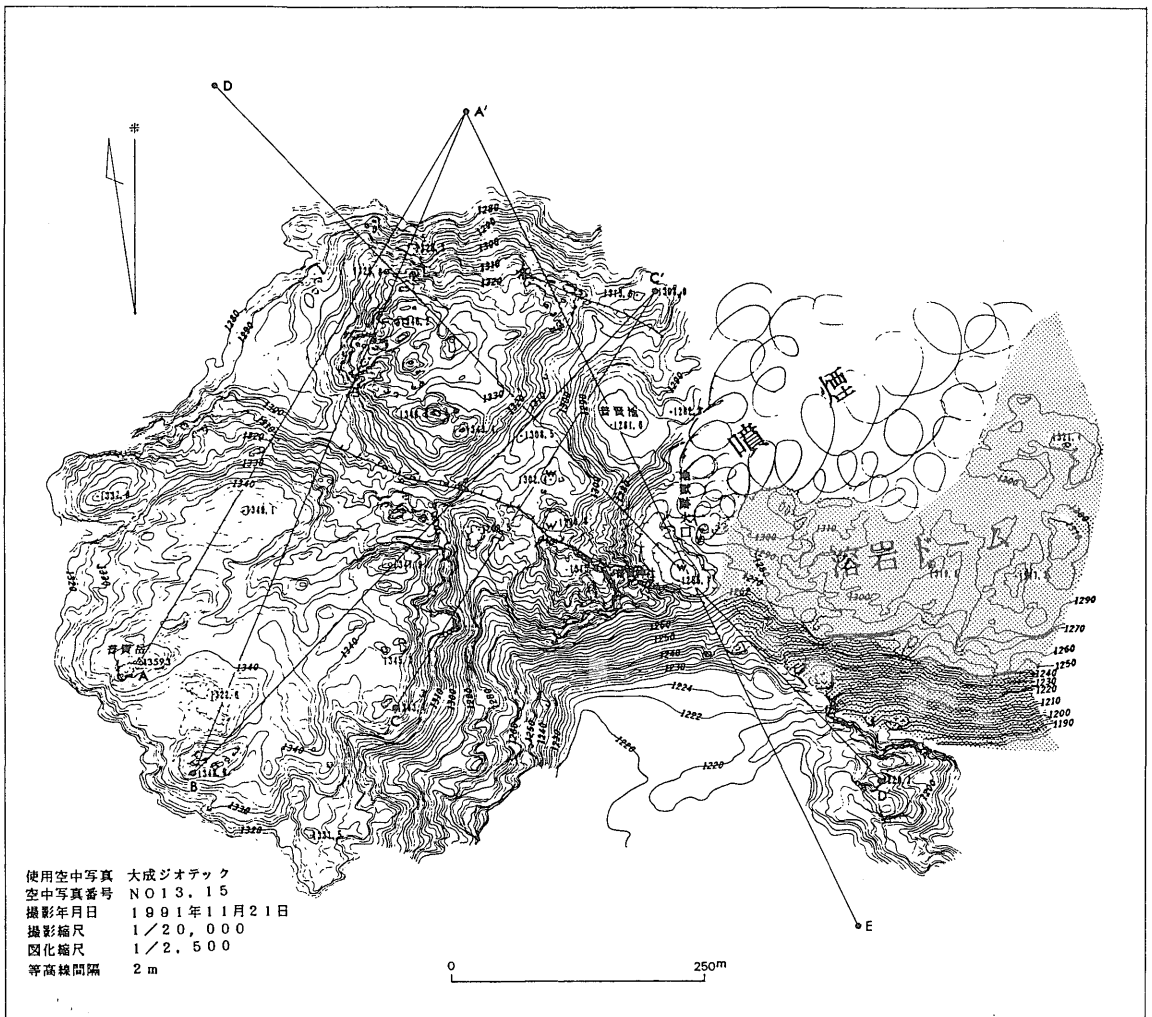
1984年及び1991年11月の2時期の写真上ではっきり確認できる露岩を選び, 3視準3測定を行いその平均値から水平位置 X, Y と標高 H を求め, それらの値の差から地

表の変動量の分布を求めた(第4図)。また, 沈降範囲及び沈降量を明らかにするため地形断面計測をおこなった。断面の始点・終点は変動量の測定に用いた露岩を選び, その点を結ぶ線上の傾斜変換点の計測をおこなった(第5図)。地形断面は, 第4図の A- \bar{A} , B- \bar{A} , B- \bar{C} , C- \bar{C} , D- \bar{D} , \bar{A} -E の6断面について計測した。第5図に代表的な B- \bar{C} , D- \bar{D} 2断面を示した。ただし, 樹木に覆われているところでは木の高さを考慮して測定した。

8. 結果

既に安田ほか(1991)は, 1991年5月の溶岩噴出開始を挟んだ2時期に撮影された空中写真の解析により, 地獄跡火口を含む東-西ないし北西-南東方向に伸びる狭い範囲内では陥没が生じ, それより南側の山体は南-南西に, 北側の山体は北-北西にそれぞれ変動したことを明らかにした。今回, より新しい時期に撮影された空中写真を用いて, より精密に解析した結果, 普賢岳地獄跡火口から山頂にかけての地域の変動の傾向は, 安田ほか(1991)のものと同様であるが, グラ-ベン状の落込みの実態がより明瞭にされた。

第4, 5図に明らかなように, 空中写真解析の結果得られ



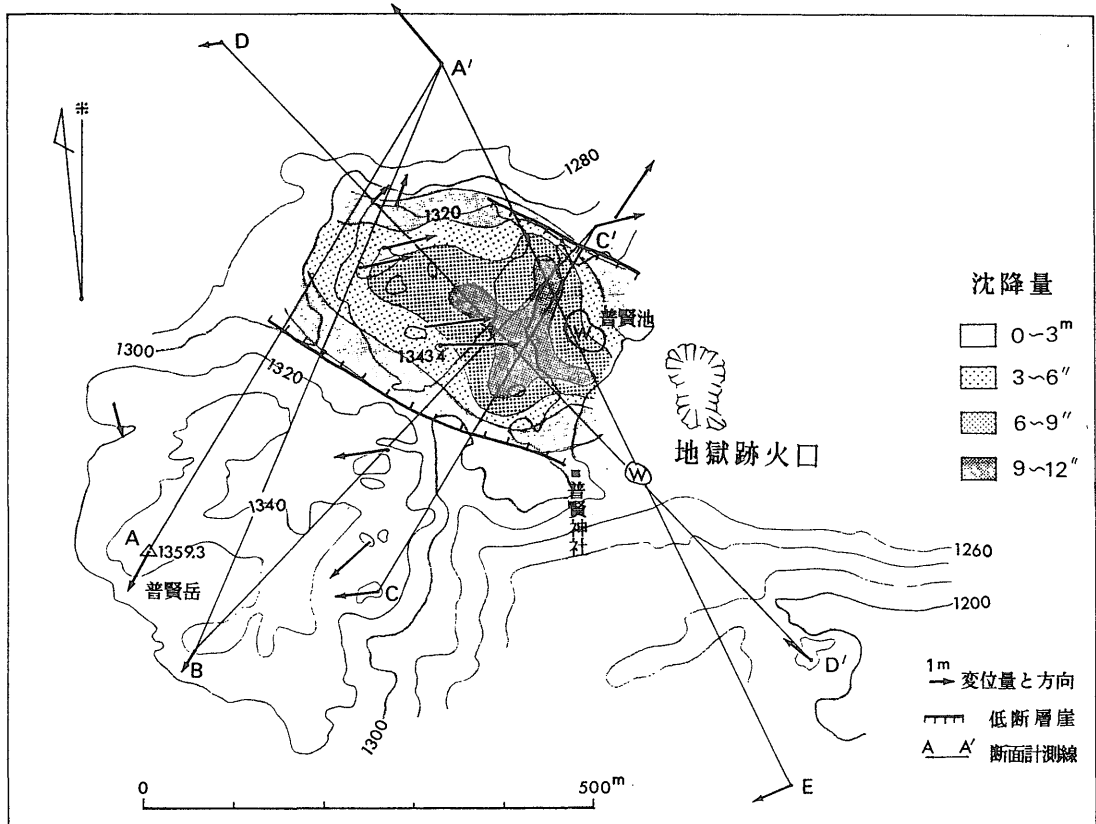
第3図 普賢岳山頂周辺の精密地形図(1992年3月作成)

Fig. 3 Precise topographic map of Mt. Fugen-dake and its surrounding areas drawn by the airphotographs taken on Nov. 21, 1991.

たグラーベン状の落込みの範囲は、今回の写真解析で認められた2つの低断層崖に挟まれた地域とよく一致している。その方向は東-西ないし北西-南東方向に伸びている。これより西方は、厚く樹木に覆われているので誤差は大きくなるが、2時期の空中写真における解析結果では系統的な変化は認められなかった。また、グラーベンの東方は、現在溶岩、噴石及び火山灰に覆われており噴火活動による地形変動の解析は不可能である。今回沈降が確認された地域の東端付近では、沈降量が幾分小さくなっているが、これは噴石及び火山灰等により埋積されたため

とも考えられる。例えば普賢池は、今回の噴火活動以前の写真によれば石の列で区切られた長方形であったことがよく認められるが、1991年11月に撮影された写真によると噴石、火山灰などの堆積により、その形状は大きく変化し原形を留めていない。

グラーベンの内側では、真下ではなく、東方すなわち火口側に傾動するように落込んでいる。この傾向も安田ほか(1991)の解析結果と同じである。岩脈状のマグマの貫入・上昇により、その真上の部分は岩脈の方向と平行にグラーベン状に落込み、それより外側の地域はゆるやか



第4図 普賢岳山頂周辺の変動量分布図

Fig. 4 Horizontal movement of each target on Mt. Fugen-dake and its surrounding areas from August, 1984 to November 1991.

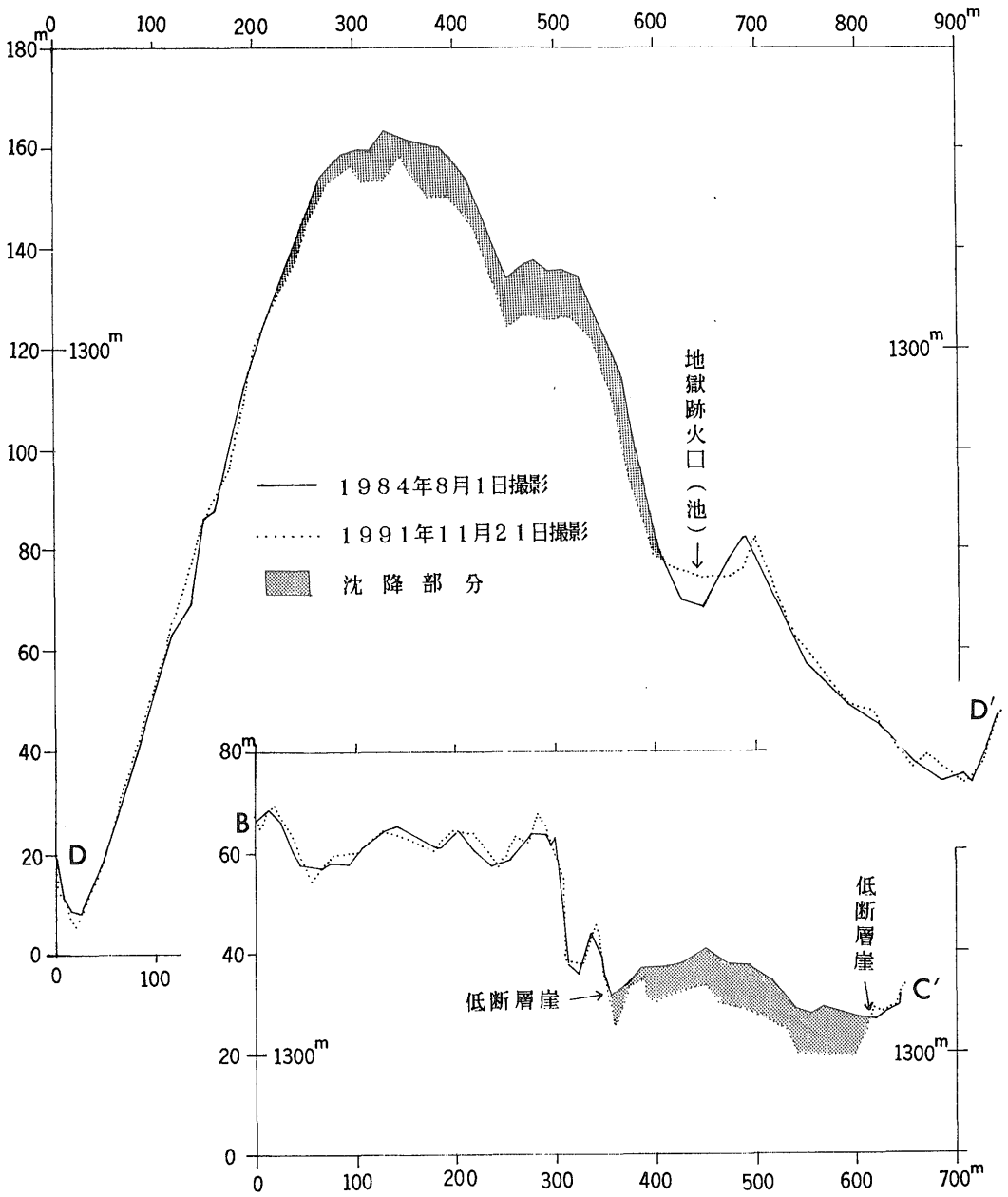
に隆起するように変動することは、イタリアのエトナ火山 (Murray, 1990) でもよく観測された事実があり、また Koide and Bhattacharji (1975) のモデル計算結果ともよく一致している。今回雲仙普賢岳で認められた山体変動では、全体の傾向は上記の文献例と同じであるが、その変動範囲が狭いため、特にグラーベン状の落込みの部分の変動はなめらかではなくブロック化し、不連続的に変動した可能性がある。

今回得られたグラーベン状の落込みの最大沈降量は約 12m である。この変動が、岩脈状のマグマの上昇によりもたらされたものであり、岩脈先端部から逆八の字形に広がる断裂系に境され沈降したものとすると、岩脈状のマグマの真の厚さは、オーダーとしてはこの最大沈降量に近いものと考えられる。また、このグラーベン状の落込みが、少なくとも西方遠方には及んでいないことから、岩脈

状のマグマの西北西-東南東方向の長さが、地獄跡火口の西方に数100m以上に及んでいる可能性はないことが明らかである。

9. おわりに

一般に写真測量は地上測量に比べて精度のオーダーが 1~2桁は劣るので微量の変動の計測には適切でない。しかし、今回の雲仙・普賢岳の活動のように、メートルオーダーの変動量があれば十分測定可能であり、この手法が最も有効であると考えられる。また、この手法は良好な空中写真が得られれば繰り返し測定が可能であること、広い範囲を一度に同じ精度で測定できること、危険な火口周辺の地域に直接立ち入らずに測定できるなどの利点がある。反面、今回の調査地域では樹木や急崖による陰影などの影響を受け、一部地域の測定精度が悪くなった。こ



第5図 D-D', B-C' 地形断面図

Fig. 5 Topographic section through D-D' and B-C'.

の計測結果が活発に活動している火山体の構造の解明や火山噴火予知の基礎資料となれば幸いである。本稿をまとめるにあたり地質情報センターの鈴木尉元博士から多くの助言を頂いた。厚くお礼申し上げる次第である。

文 献

- 木本氏寿(1970) 写真測量の実際, 山海堂, p.39.
Koide, H. and Bhattacharji, B. (1975) Mechanistic interpretation of rift valley formation. *Science*, 189, p.791-793.
Murray, J.B.(1990) High-level magma transport at Mount Etna volcano, as deduced

from ground deformation measurements. In Ryan, M.P., ed., *Magma Transport Storage*, John Wiley & Sons Ltd., p.357-383.

- 斎藤英二・渡辺和明・遠藤秀典・須藤 茂・星住英夫 (1991) 雲仙, 普賢岳の光波測距(速報). *地質ニュース*, 第443号, p.67
安田 聡・須藤 茂・遠藤秀典(1991) 空中写真を用いた雲仙・普賢岳周辺の火山活動に伴う地形変動の計測. *日本リモートセンシング学会誌*, vol.11, no.3, p.61-64

(受付: 1993年6月8日; 受理: 1993年8月20日)