

雲仙岳火山活動状況

(1993年11月～1994年2月)

Volcanic Activity of Mt. Unzen Volcano (November, 1993 – February, 1994)

九州大学理学部附属島原地震火山観測所
Kyushu Univ.

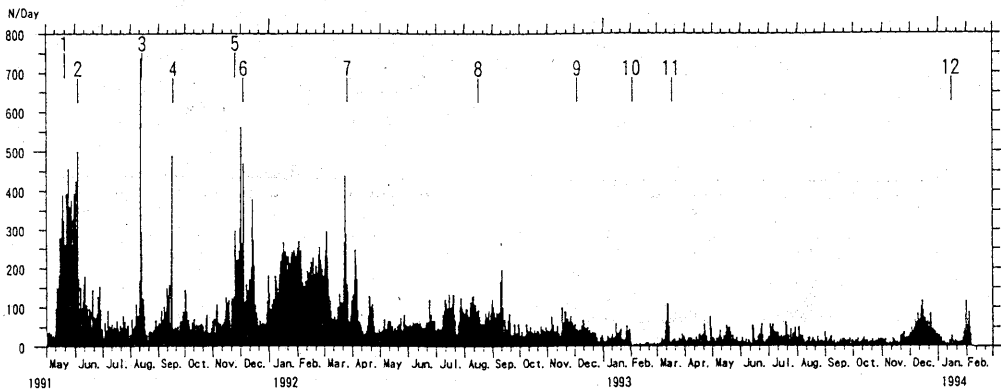
1. 活動の概要

1993年3月に成長を始めた第11溶岩ローブは、同年6月の千本木方向への規模の大きな火砕流後もほぼ同一火孔からの溶岩噴出を続け、全長800mにも達したが、11月にはほぼ成長を停止した。

11月中旬には地質調査所による光波測量により、1991年5月の溶岩ドーム出現時以来の山体南側の張り出しが観測された。さらに11月19日より、比較的高周波の波が卓越した地震の発生が顕著となった。12月上旬からは地震の規模は徐々に大きくなり、その一方で発生間隔が徐々に広がるという特徴を示した。12月中旬からは雲仙岳測候所で震度Iの有感地震となり12月末にはM2.9にまで達したが、1994年1月5日に有感規模の地震は停止した。この間溶岩ドームは、南西部破砕丘が隆起とともに南西方向へ約100m前進した。

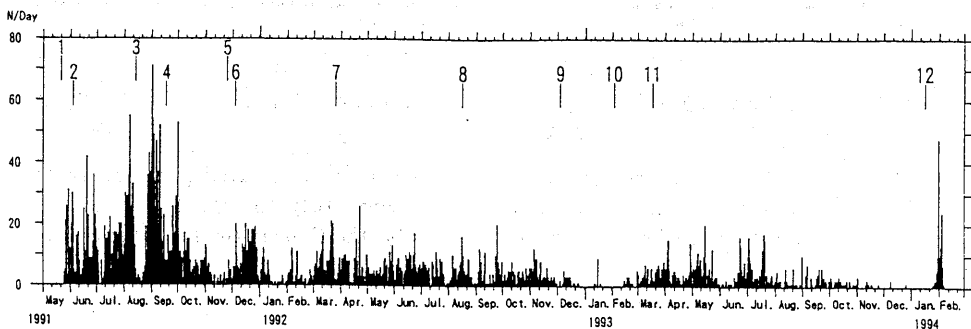
この変動が停止してまもなく、1月15日の上空観測により、南西部隆起と第11溶岩ローブの中央部付近に新たな溶岩の湧き出し(第12溶岩ローブ)が確認された。1月下旬には、第12溶岩ローブより火砕流が南東・赤松谷方向に下るようになった。2月3日、同方向に比較規模の大きな火砕流が頻発したが、その翌日の上空観測により、南東側斜面の古い溶岩の崩落跡に、第12溶岩ローブが湧き出し口を移動させたと思われる新溶岩の湧き出しが確認された。しかしこれは、溶岩湧き出し量と崩落量とが均衡したため、そのまま湧き出し停止まで初期の大きさを保ったままであった。

1994年1月5日の有感地震停止後、地質調査所の光波測量により山体北西側の張り出しが新たに観測された。また、高周波地震も、ごく小さいものは依然として発生し続けていた。第1図に、1991年5月～1993年2月の日別震動回数(10秒以上)、第2図に日別火砕流発生回数を示す。また第3図には、千本木、おしが谷、水無川、赤松谷、龍の馬場(南西側)各方向別の日別火砕流、落石発生回数を示す。



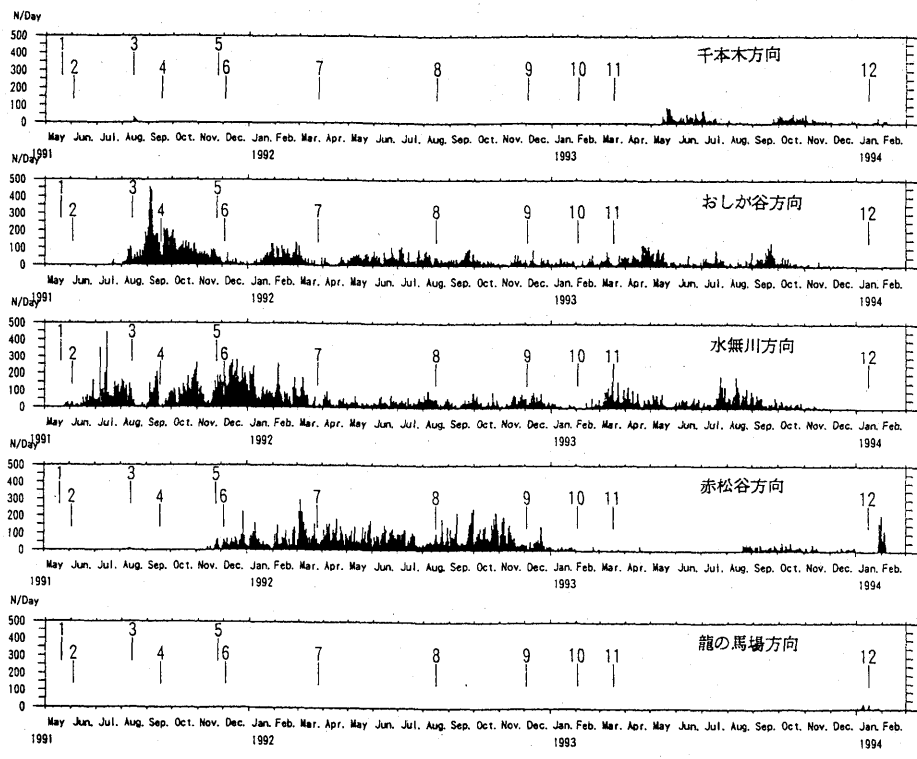
第 1 図 日別震動回数 (震動継続時間 10 秒以上)

Fig. 1 Daily number of tremors (duration time ≥ 10 s).



第 2 図 日別火砕流発生回数 (陸上自衛隊)

Fig. 2 Daily number of pyroclastic flows observed by The Ground Self-Defense Force.



第 3 図 日別火砕流・落石発生回数(方向別:千本木, おしが谷, 水無川, 赤松谷, 龍の馬場)(陸上自衛隊)

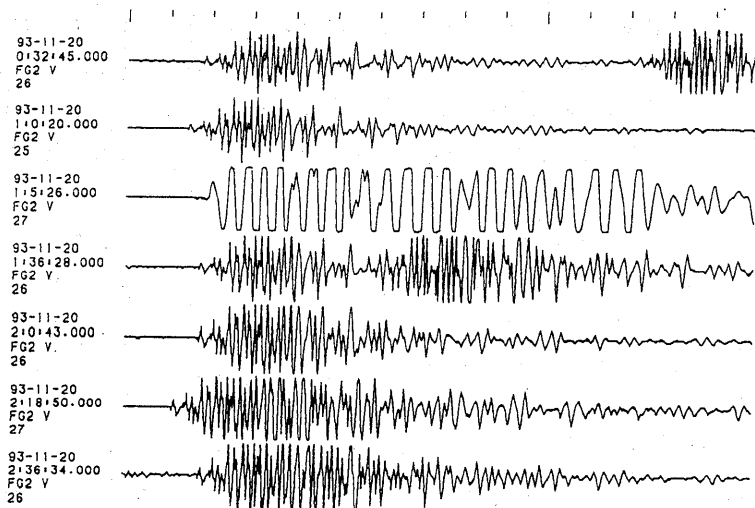
Fig. 3 Daily number of partial collapses which generated pyroclastic flows or rockfalls. Figures are shown separately for the five flow courses. Observations were made by the Ground Self-Defense Force.

2. 山頂部地震活動

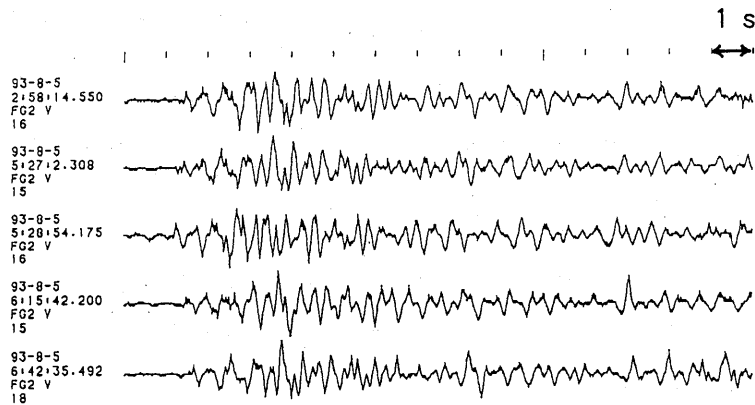
1993年11月以降、卓越周波数5～8 Hzの比較的高周波の地震が頻発した。第4図に、1991年5月、1993年8月、11月の波形例を示す。第5図には、1分ごとの最大振幅から推定した山頂部地震のマグニチュードの推移を示す。地震規模の拡大とともに、発生頻度の低下がみられる。第6図に、1993年8月（低周波地震）と12月（高周波地震）の震源を示す。震源のばらつきは震源決定誤差と考えられるが、高周波地震は低周波地震に比べ、西方やや深いところに発生している。同図中の三角形の頂点の位置は、溶岩ドーム近傍の地震計の位置を示しているが、これをトリバタイトとみなして求めた、高周波地震の見かけ速度と到来方向を第7図に示す。地震4例は、いずれも12月の有感地震（雲仙岳則候所、震度I）で、見かけ速度はすべて1 km/s付近である。トリバタイトを用いた有感地震の震源の推定では、P波速度を0.9 km/sとして、南西部隆起頂部のほぼ直下、海拔1,000 m付近で走時残差が最小となる（第8図）。

第9図に12月31日16時44分M2.9の地震の発震機構（暫定解）を示す。初動の読み取り可能なすべての観測点で「引き」であるが、同図中二重丸で示した観測点では、地震によっては「押し」となる場合がある。さらに、S波の偏向方向を考慮して検討した結果、同図に示す南北張力の正断層が有力だが、表面の地盤変動などもあわせてさらに検討の余地が残る。なお、射出角の計算は、第10図のペーストアップの結果に基づいた。

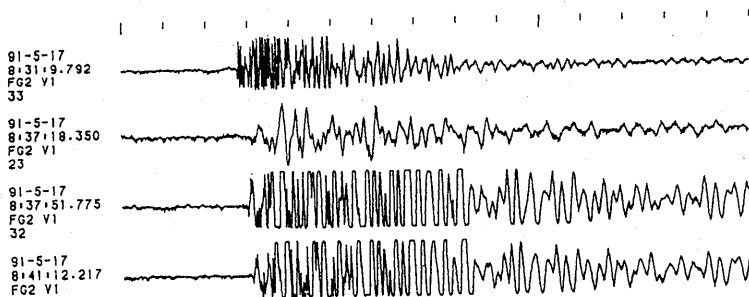
今回の高周波地震では、波形の相似な地震群の出現がみられた。1993年末までに、少なくとも3つのグループが認められる。相関係数の計算例および、各グループの波形例を第11図に示す。



(a) 1993年11月



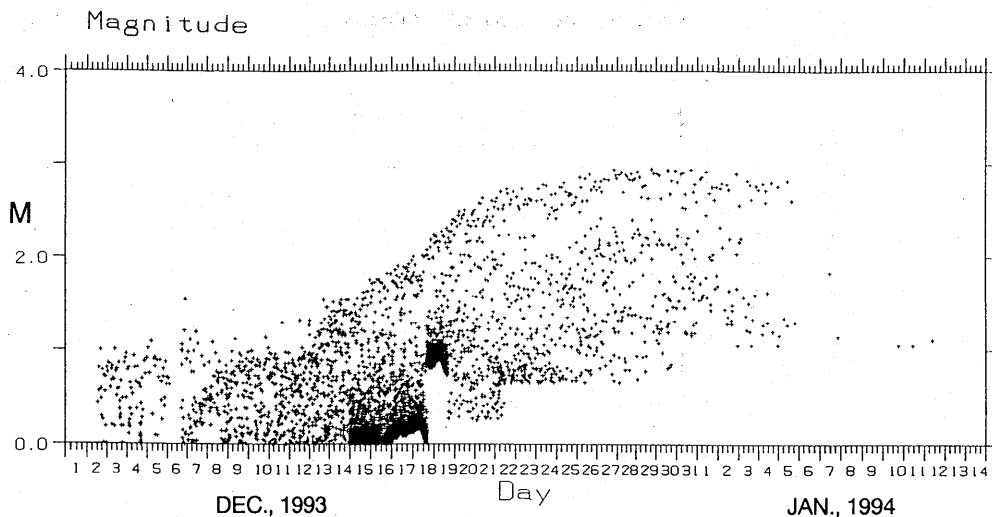
(b) 1993年8月



(c) 1991年5月

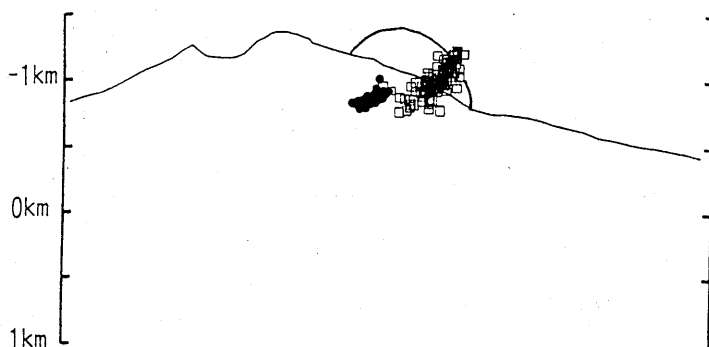
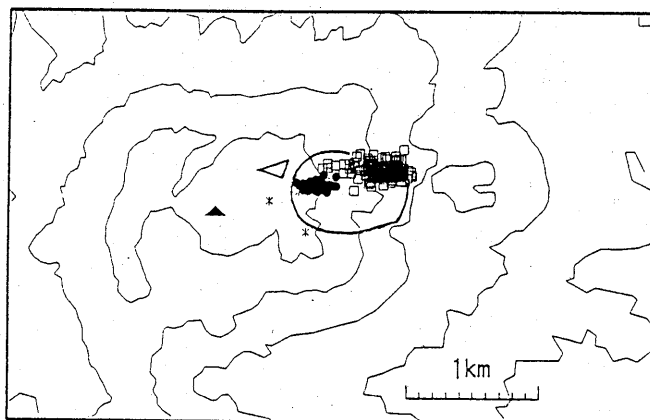
第4図 山頂部地震の波形例

Fig. 4 Examples of waveforms of summit earthquakes.

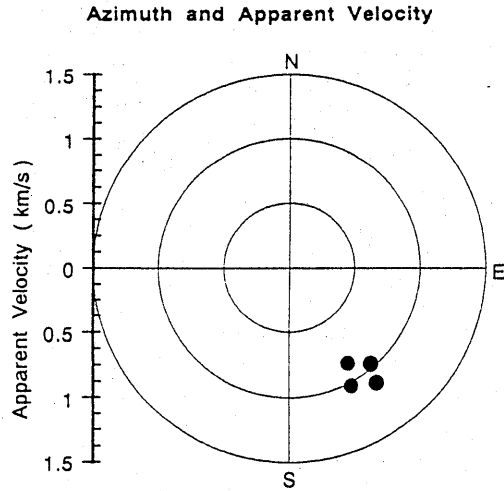


第 5 図 山頂部地震のマグニチュード推移 (1分毎に最大振幅値から算出)
 Fig. 5 Magnitude-time plots of summit earthquakes.

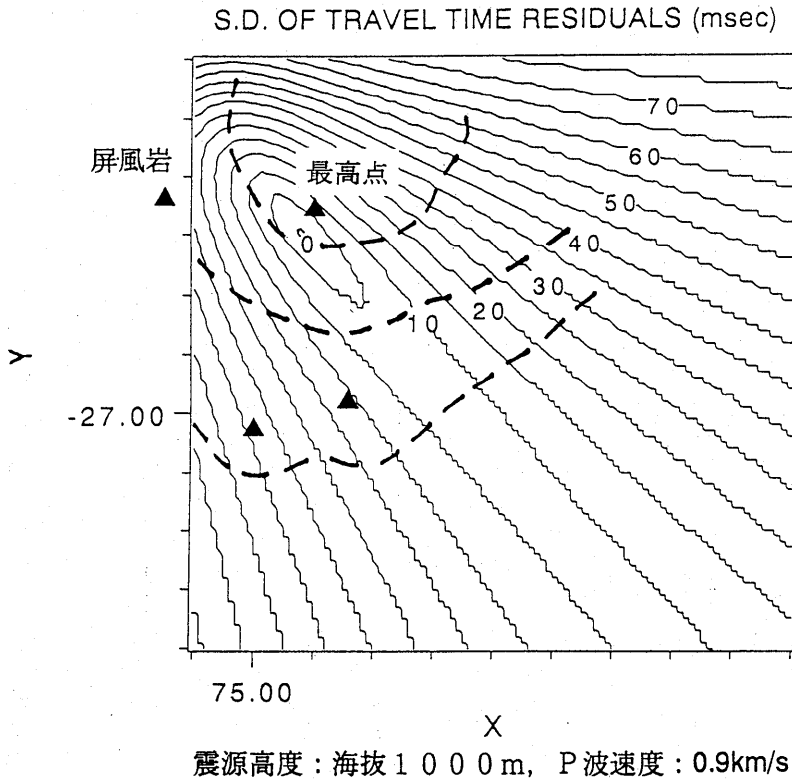
N=268



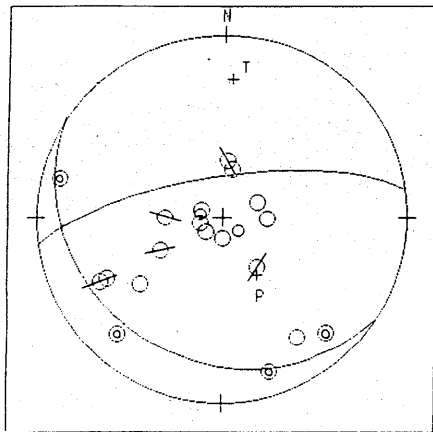
第 6 図 山頂部地震の震原分布。□：低周波地震 (1993年8月), ●：高周波地震 (1993年12月)
 Fig. 6 Hypocentral distribution of summit earthquakes. □：low-frequency earthquakes of August, 1993, ●：high-frequency earthquakes of December 1993.



第 7 図 トリパタイト (第 6 図中の三角形) における有感地震 (雲仙岳測候所, 震度 I) の見かけ速度と到来方向
 Fig. 7 Apparent velocity and azimuth of felt earthquakes at a tripartite in Fig.6.



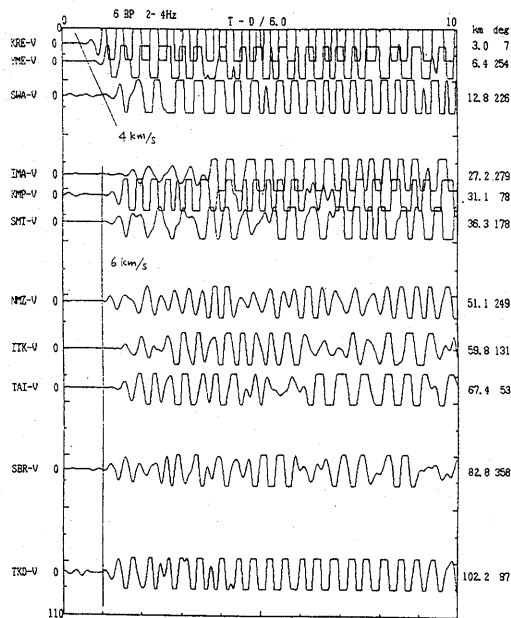
第 8 図 トリパタイトを用いた有感地震 (12月31日16時44分, M 2.9) の震源の推定 (走時残差分布)
 Fig. 8 Calculation of travel time residuals at a tripartite (Fig.6) to pin point the hypocenter of the felt earthquakes.



Dip = 24°
 Str. = 303°
 Dip = 72°
 Str. = 31°
 ANG = 30°
 AZM = 149°
 ANG = 65°
 AZM = 3°

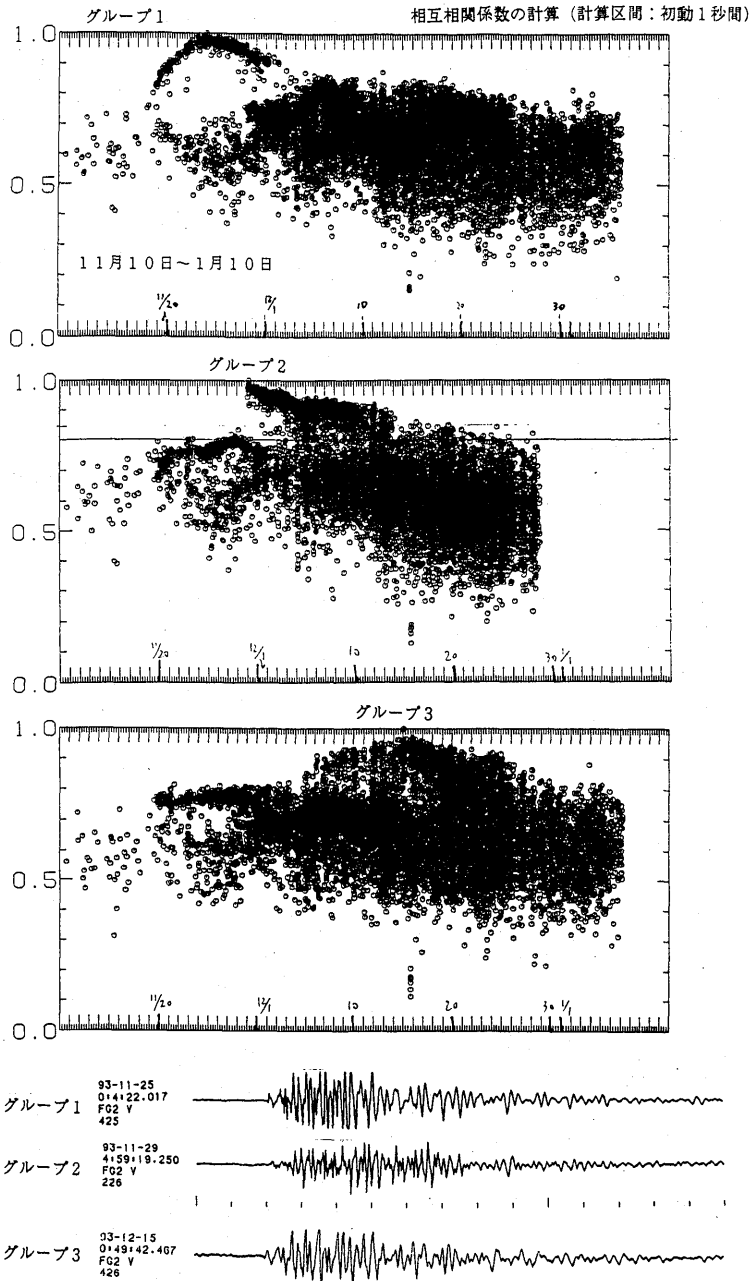
第 9 図 発電機構 (12月31日16時44分, M2.9), 下半球等積投影, 全点初動は「引き」。◎:地震によっては初動が「押し」のことがある観測点。バーはS波の偏向方向。

Fig. 9 Focal mechanism solution of the summit earthquake (Dec.31 at 16:44, 1993, M2.9). Equal area projection of the lower hemisphere. Dilatational first motions were observed at all stations, but compressional first motions were occasionally observed at stations indicated by double circles for other earthquakes. Bars show polarization directions of S-wave first motion.



6km/sでレデュース
 2-4Hzバンドパスフィルター使用

第 10 図 地震波形のペーストアップ (12月31日16時44分, M2.9)
 Fig.10 Paste up of waveforms of the summit earthquake (Dec. 31 at 16:44, 1993, M2.9).



第 11 図 山頂部地震の相互相関係数 (初動 1 秒間)。少なくとも 3つの波形の相関のよいグループが認められる (下は、各グループの波形例)

Fig.11 Cross correlation of waveforms of summit earthquakes. Three groups with similar waveforms are found. Waveforms in each group are shown at the bottom.

3. レーザ計測システムを用いた地形計測

3次元測量システムであるレーザ計測システムを用いて雲仙普賢岳溶岩ドームの形状を測定した。このシステムはレーザ測遠機をデジタル・セオドライトに同架し、それぞれのデータをインターフェースユニットを介してノートパソコンに自動的に記録する装置である。レーザ測遠機は人間の目にあたって安全なErガラスレーザを放射し、目標物からの反射光を測定するもので、特に目標物に反射鏡を必要としないため、反射鏡の設置が難しい溶岩ドームの測量に最適である。測定可能距離および精度は目標物の反射係数に依存するが、溶岩ドームのように比較的反射率の高い目標では数kmまで数mの精度で測定可能であり、距離2km以内であれば1m以内の精度で測定できる。また樹木地帯では距離数kmでも反射光が戻ってくる。ちなみに雲などの水蒸気も測定可能であるが、崩落や火砕流に伴う火山灰は散乱が大きいため測定が不可能であった。また測遠機近傍で火山灰が舞っているとそれに邪魔されて測定ができなくなることがある。

1993年12月29日、1994年1月9日および1月26日に雲仙普賢岳溶岩ドームの南南西にある仁田道路第2展望所近くのN1観測点(標高1030m)からレーザ計測システムを用いて測量を実施した。この点から溶岩ドームまでの距離は1.5~2kmであり、1993年11月以降大きく変化したドーム南西側を見通すことができる。

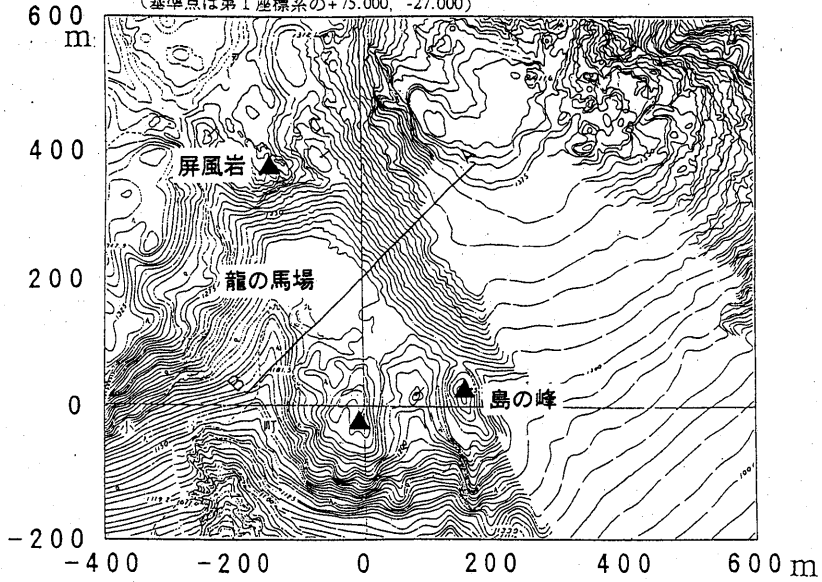
測量は水平・垂直方向に1°間隔(約30mごと)で面的に行うとともに、ドームや既存山体の縁の部分も行い、一回の測定で約200点の3次元データを取得した。なお、この距離ではレーザのビームは直径1.5~2mであり、この範囲で最初に帰って来る反射点の位置が測定値となる。

測定データを座標変換し、等高線図(第12図)を作成した。この時の観測ではとりあえず1地点からの測定であったため、影になる部分の標高が求められていないが、複数の方向から測定することにより、影の部分が少なくなるとともに全体の精度も上がる。また同一地点から何度も繰り返して測量することにより1mの精度で相対変位を測定可能である。

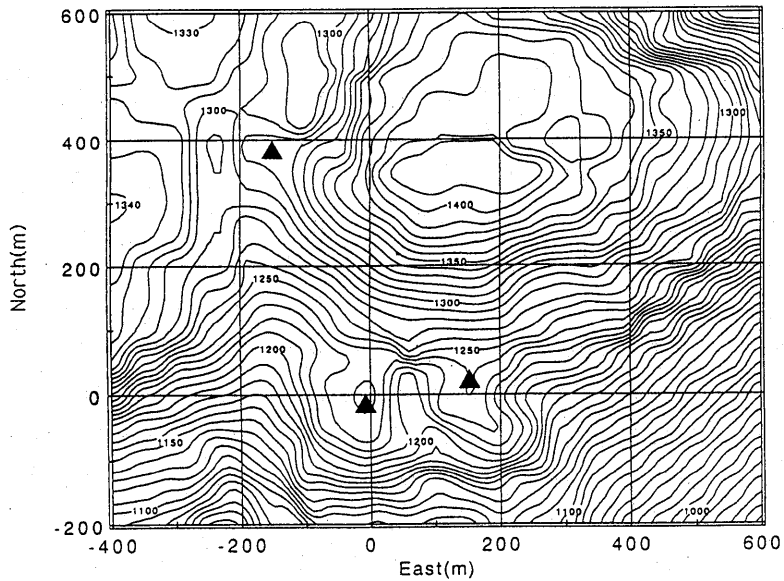
この図を1993年10月13日撮影の国土地理院作業図と比較すると、変動が小さい旧山体の部分は数mの精度で一致している。この差の大部分は樹木などにより見かけ上標高が大きく測定されたためであると考えられる。

今回の溶岩ドーム南西側の変動は1993年12月中旬から顕著になり、1994年1月上旬にはほぼ停止した。この間にドーム南西側斜面は水平方式に約130m南西側に張りだし、また斜面方向には約100m前進した(第13図)。また1993年10月13日の地形図による標高との差をとると約110m隆起したことがわかった(第14図)。この図からこの期間のドーム体積の増加量を計算すると約1,150万立方メートルであった。また1月9日以降はほとんど体積の増加がないことがわかる。一部分約20mの隆起が見られるが、これは1月15日に出現した第12ロープによる隆起である。

1/5000火山基本図 (一部1993年10月13日作業図 等高線間隔5m)
 (基準点は第1座標系の+75.000, -27.000)

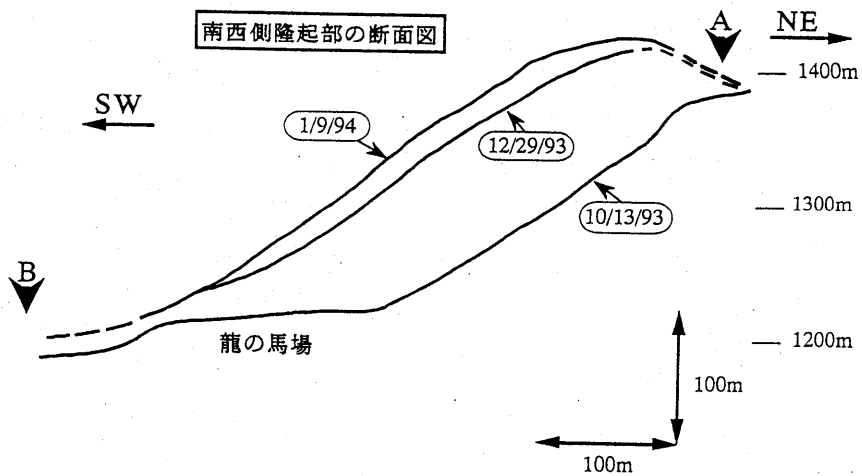
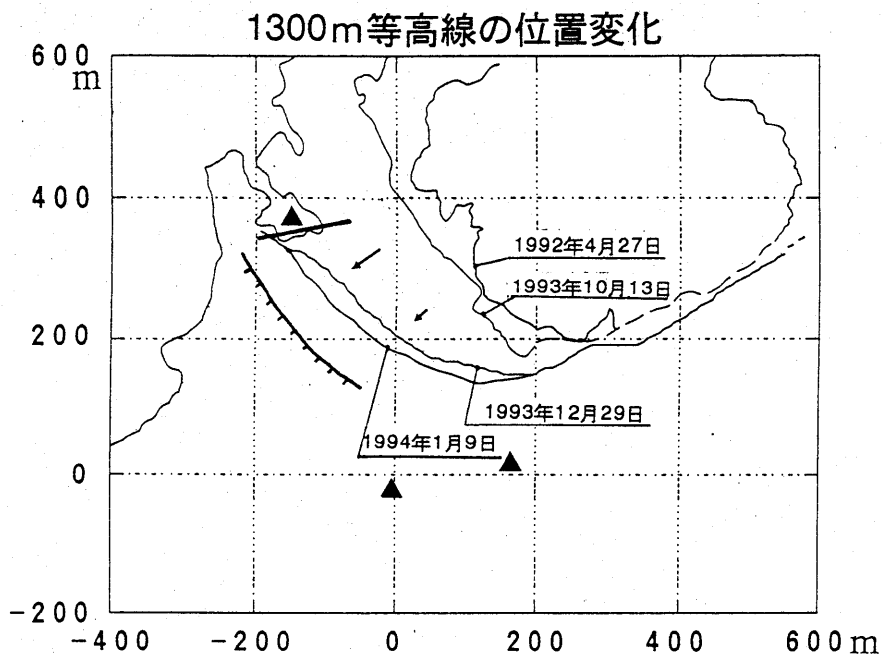


1994年1月26日の地形図 (等高線間隔10m)



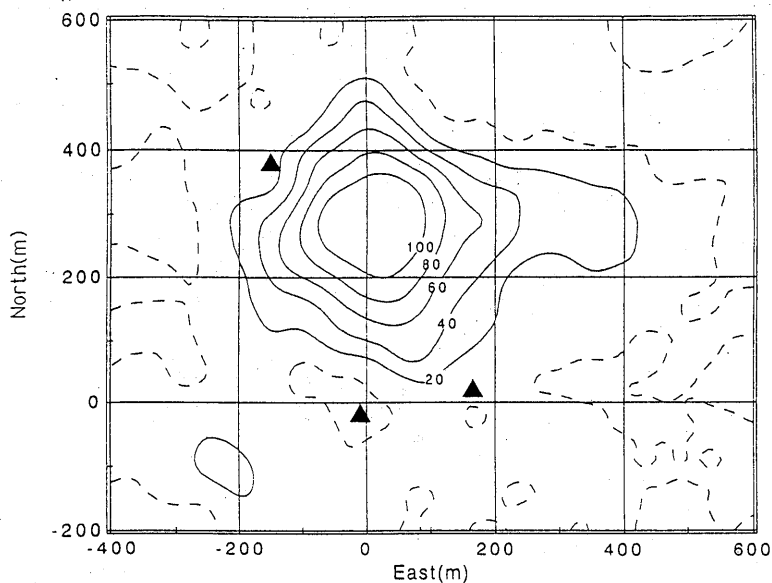
第 12 図 1993年10月13日(国土地理院火山基本図)と1994年1月26日(レーザ計測システムで測定)のドーム南西側の地形図

Fig.12 Map of southwestern part of the lava dome on Oct. 13, 1993 (by GSI) and Jan. 26, 1994 measured with laser range finder.

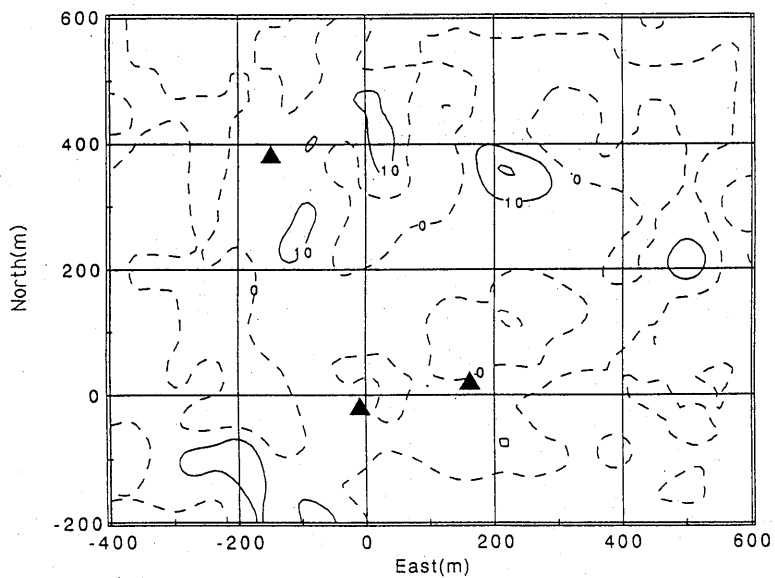


第 13 図 1,300 m 等高線の位置変化と、南西側隆起部の断面の変化
 Fig.13 Map showing the change in location of 1,300 m contour lines (above) and the cross section of southwestern part of the lava dome (below)

標高変化 (1993年10月13日~1994年1月26日)



標高変化 (1994年1月9日~1月26日)



第 14 図 1993年10月13日から1994年1月26日間の標高変化量と1994年1月9日から26日までの標高変化量

Fig.14 Map showing difference in altitude during Oct. 13, 1993-Jan. 26, 1994 (above) and Jan. 9, 1994-Jan. 26 (below).

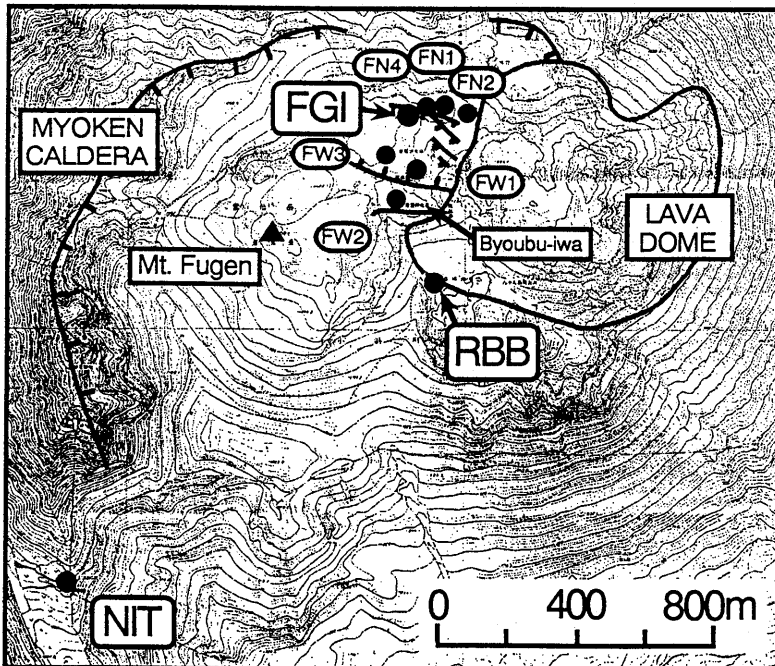
4. 雲仙普賢岳ドーム近傍におけるGPS観測

島原地震火山観測所ではGPSを用いた地殻変動観測を1992年6月より実施している。第15図に観測地点を示す。いずれも妙見カルデラの外にある仁田峠(NIT)を基準点とし、そこからの水平および上下方向の距離の変化を観測している。ドーム群の北西約200mのFGI点では1993年4月までは連日観測を実施していたが、その後各点と同様に高速静止測量法を用いておよそ半月ごとに観測を実施している。

第16図はドーム北西側の観測点での結果であり、これをみると1993年2月中旬から4月上旬にかけて北西ないし北北西方向への急速な変位が見られたが、その後はほぼ停止状態であった。しかし、1993年11月に一時的に北西への変位がみられた後、1994年1月に入ってから北ないし北西方向への大きな変動が始まった。

第17図はドームの西および南西側の観測点での結果である。これをみると1993年11月にドーム中心部から放射状に変位があったが、12月上旬にはほぼ停止していることがわかる。さらに12月中旬からはドーム南西部の張り出しにともなう変動が西側の点でも見られている。またこの変動に伴い各観測点で隆起も観測されている。

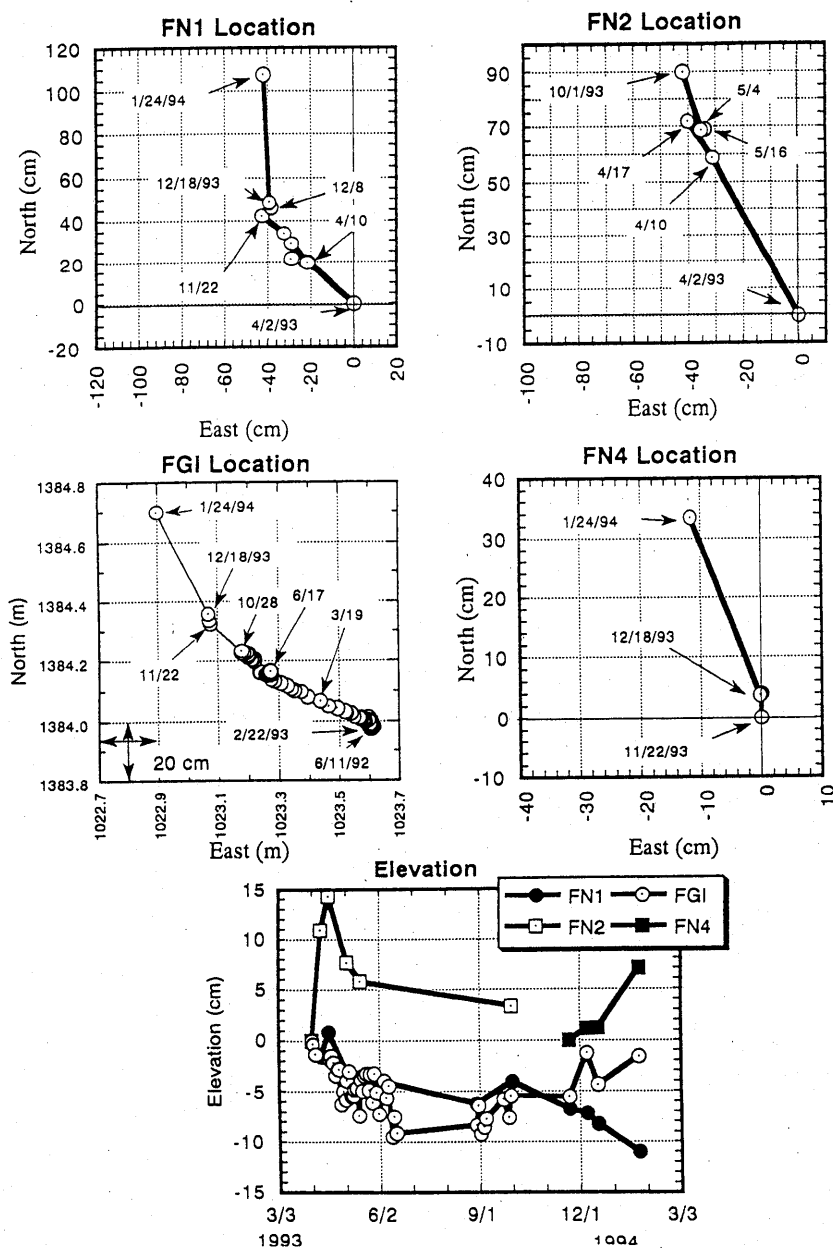
G P S 観測点配置図
(RBBとFN2は1993年秋に亡失)



第15図 雲仙普賢岳山頂部におけるGPS観測点配置図

Fig.15 Distribution of GPS tracking sites around the lava dome.

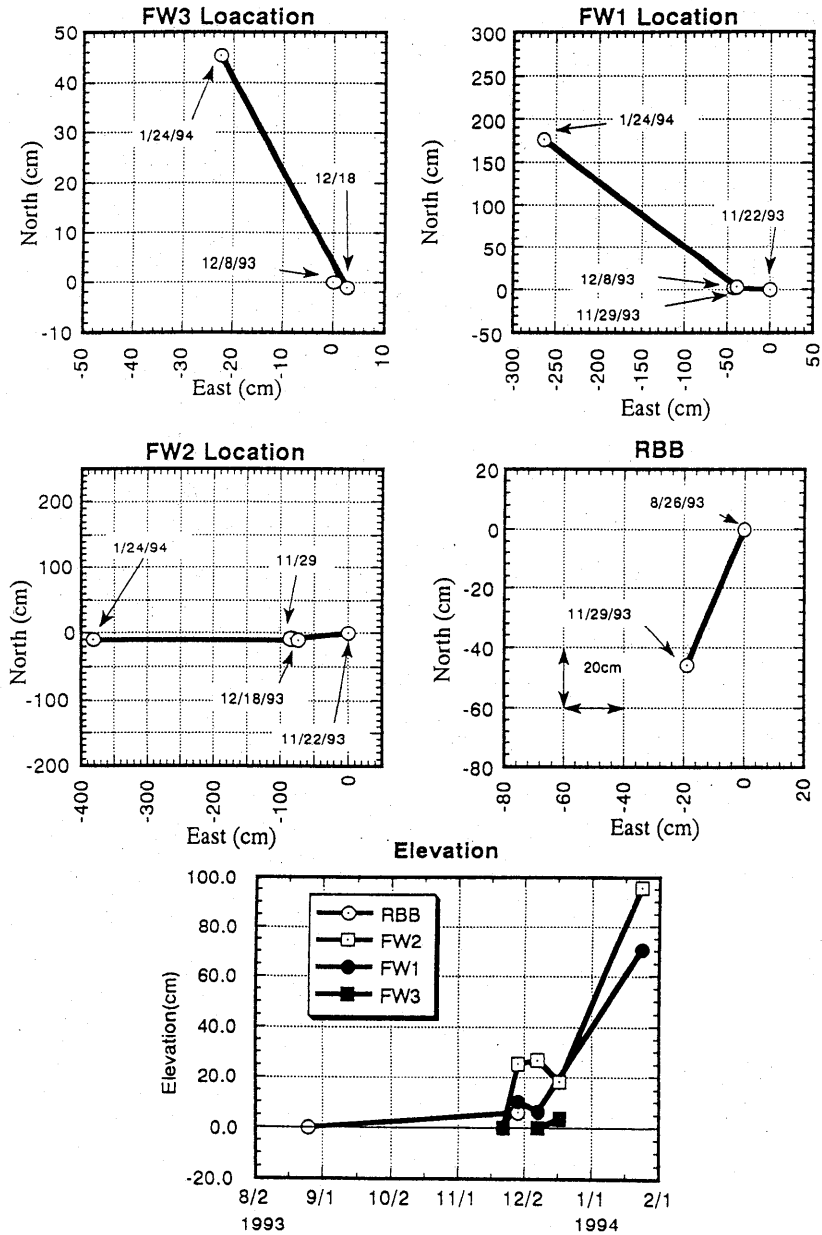
Mt. Unzen GPS (FN1,2,4,FGI)



第 16 図 ドーム北西側の観測点の位置変化

Fig.16 Changes in coordinates of observation points in north-western part of the lava dome.

Mt. Unzen GPS (FW1,2,3,RBB)



第 17 図 ドーム西および南西側の観測点の位置変化

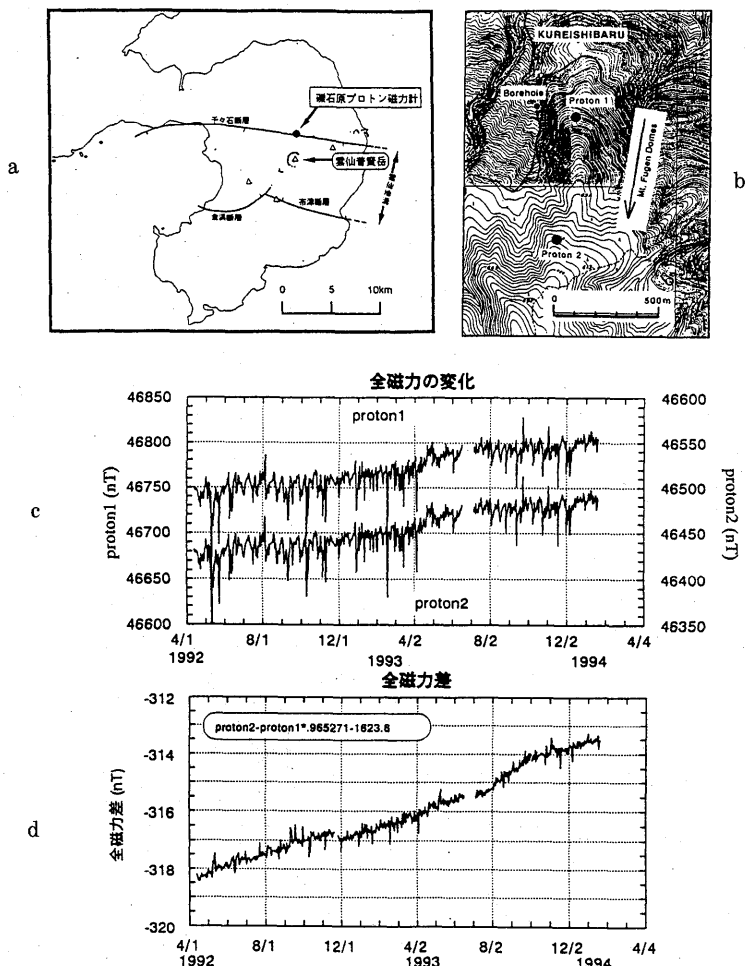
Fig.17 Changes in coordinates of observation points in western and south western part of the lava dome.

5. 雲仙岳北麓における磁気観測

1992年4月から溶岩ドームの北3 kmの地点にある礫石原(くれいしぼる)観測点に2台のプロトン磁力計を設置し観測を続けている(18 a b 図)。2台の磁力計はドームの方向に向けほぼ南北に設置されており、2地点の間隔は590 mである。

第18 c 図は毎日00~02時の深夜の全磁力観測値(サンプリング間隔1分)を平均したものである。2地点の観測値の単純な差では外部磁場擾乱のためばらつきが大きくなるため、第18 d 図では係数をかけて差をとっている。この係数は1992年5、6月のデータのばらつきが最少になるように決定している。なお1992年11月20日から数日間は落雷により欠測しており、さらにその前後でデータに明瞭な飛びが見られる。

全磁力差は減少傾向を示しており、観測点の南方にある普賢岳はいまだ消磁傾向が続いているといえる。1993年8月頃から10月頃までさらに消磁傾向が強まったが、それ以降はほぼ元の傾向に戻っている。



第 18 図 雲仙普賢岳北麓における全磁力観測点およびその変化

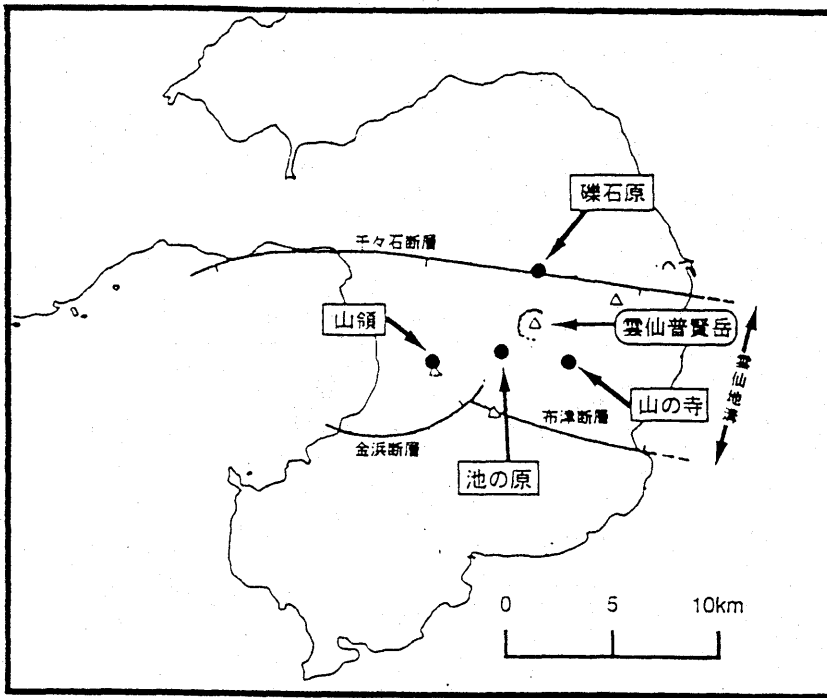
Fig.18 Distribution of observation points and variation of geomagnetic total force intensity and their difference.

6. 雲仙岳周辺における傾斜変化

1992年4月に雲仙普賢岳の周囲の4ヶ所に坑井内傾斜計を設置し、火山活動に伴う傾斜変化の観測をはじめた(第19図)。設置した計器はアカシ製力平衡型振子式傾斜計(JTS-23型)で、いずれの地点も設置深度は100mである。

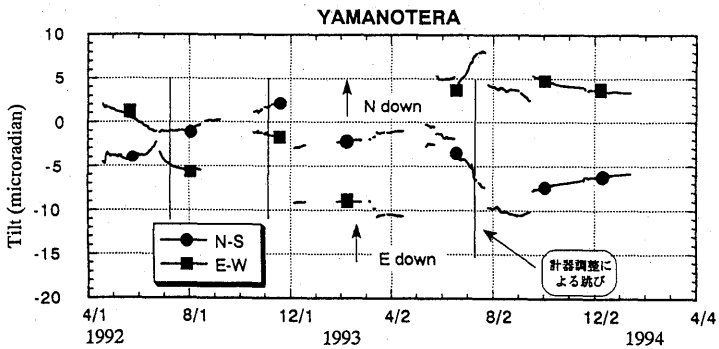
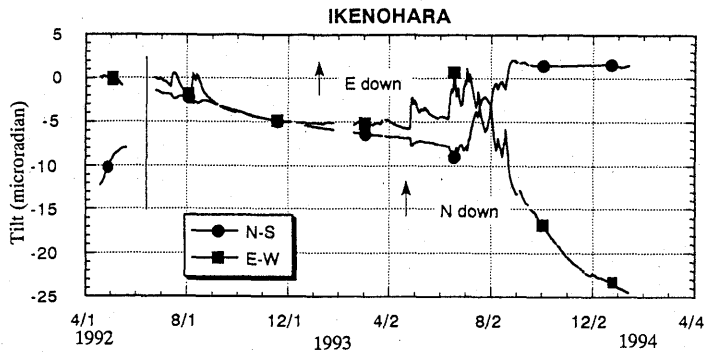
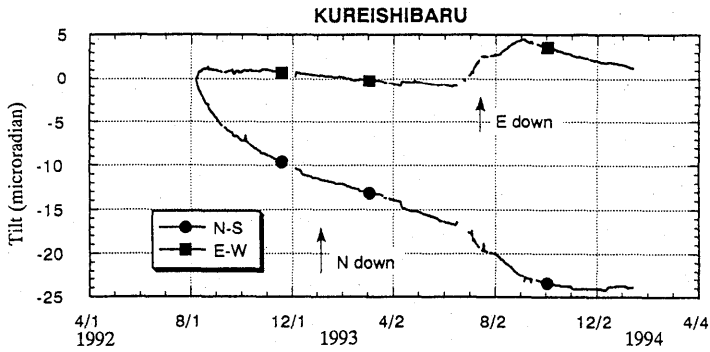
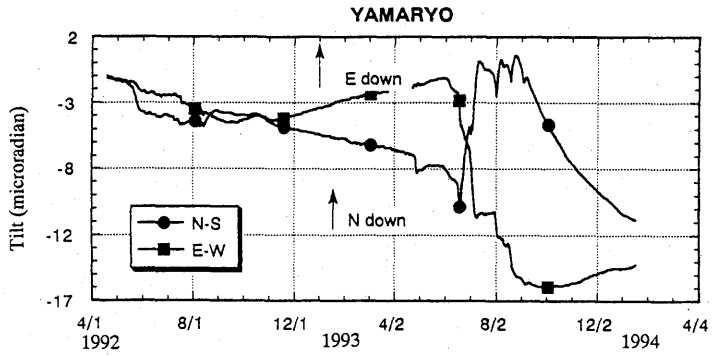
第20図は各地点における傾斜の日平均値の変化を示したものである。各地点の最近の傾向をみても、普賢岳の北の礫石原では西下がり、南西の池の原では西下りの傾向が一応見られる。普賢岳南東の山の寺では北西下りの傾向が見られる。また千々石湾に近い山領観測点では南南東下りの傾向にある。

また各観測点とも昨年4月末から8月にかけての大量の降雨の影響を強く受けており、その余波が現在でもまだ続いている。



第19図 雲仙普賢岳周辺の傾斜計配置図

Fig.19 Distribution of tiltmeters around Mt. Unzen



第 20 図 雲仙普賢岳周辺における傾斜変化

Fig.20 Daily mean crustal tilt data around Mt. Unzen.