

雲仙岳周辺の地盤変動(1986年11月～1992年2月)*

京都大学防災研究所
附属桜島火山観測所

1992年1～2月に国立大学火山観測機関合同観測班・測地グループは雲仙岳と島原半島西岸の水準測量およびGPS測量を実施した。水準測量は、北海道大学理学部、東京大学地震研究所、名古屋大学理学部、京都大学理学部、京都大学防災研究所、また、GPS測量は、北海道大学理学部、京都大学理学部、京都大学防災研究所が実施した。本稿では、1991年1月から実施しているGPS測量の結果および1986年11月以降の島原半島西岸の上下変動に重点をおいて述べることにする。得られた資料からの現象の解釈については、今回は京都大学防災研究所附属桜島火山観測所が担当した。

1. 水準測量

1) 雲仙岳路線

雲仙岳北山麓と山頂部付近の水準路線および測定期間毎の上下変動(1991年5月～1992年2月)を第1図に示す。山頂部付近では1991年5月～8月に局所的な地盤の沈降が測定された。北西山麓では1991年8月～10月に明瞭な沈降が生じた。1991年10月までの変動の解析から山頂部直下(A: 約2 km)と雲仙岳西斜面(B: 深さ約4.5 km)に力源の位置が推定されている¹⁾。1991年12月～1992年2月の間には、1991年8月～10月に見られたような顕著な沈降は認められない。

2) 島原半島西海岸路線

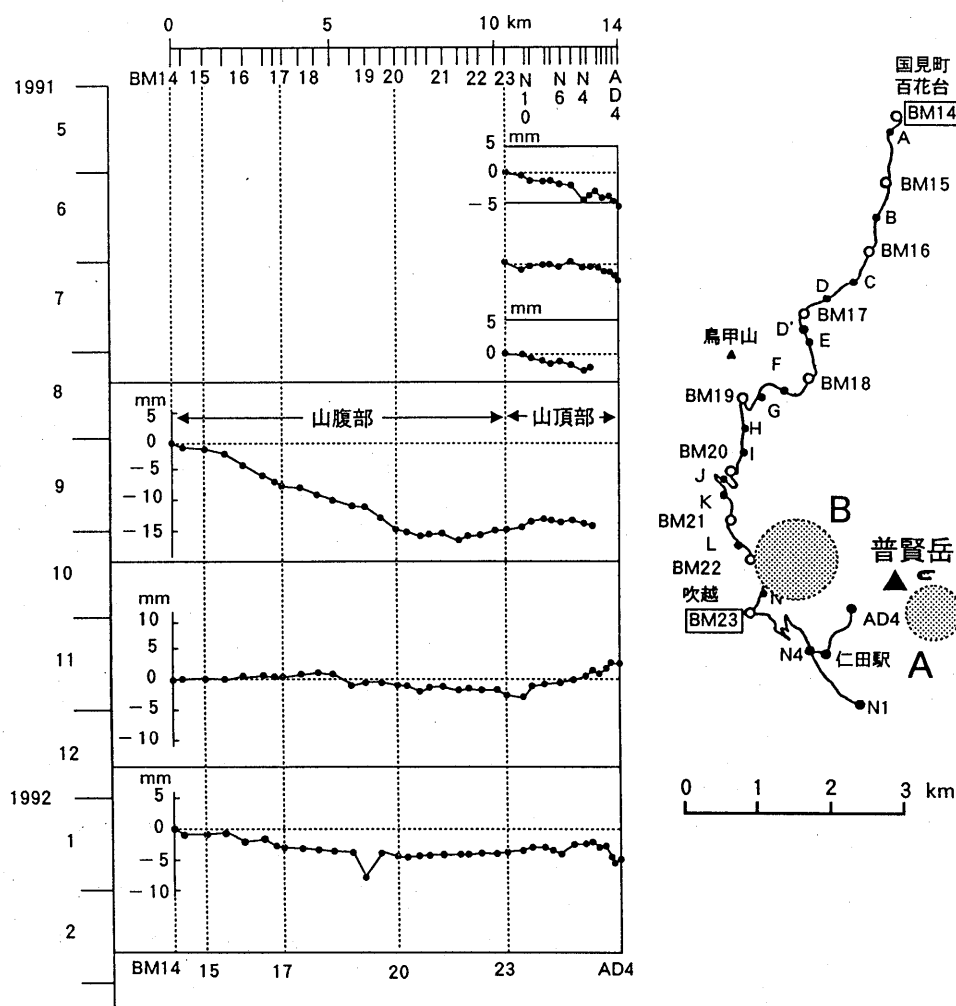
島原半島西海岸の水準路線および水準測量の結果(1986年11月～1992年2月)を第2図に示す。島原半島西岸の水準測量路線(第2図(a))は1986年に設置され、同年11月に第1回の測量を九州大学理学部と京都大学防災研究所が実施した²⁾。第2回と第3回の測量は、普賢岳が噴火を開始した直後の1990年11月と1991年3月に国土地理院によって実施された³⁾。従って今回(1992年2月)は第4回目の測量である。なお、第3回目の測量は、西海岸路線のうち、水準点BM4271からT115までの北側の半分についてのみ実施されている。

水準路線北端の水準点BM4271を不動点とした場合の測量期間毎の水準点の上下変化を第2図(c)に示した。1986年11月～1990年11月は、千々石断層崖下の沖積層の局所的な沈降を除けば、島原半島西側は小浜町付近を中心に隆起の傾向を示している。1990年11月～1991年3月の期間も、測量が実施された半島西海岸の北半分でみる限りは、この隆起傾向は続いていると判断される。溶岩ドームが出現し溶岩の流出が続いている期間を含む1990年11月～1992年2月の間では、逆に、水準点T119(南高来郡小浜町北部)付近を中心に最大で約40 mm程度の沈降が認められた。すなわち島原半島西海岸は1986年11月を基準にすると、少なくとも1991年3月までは隆起していたと考えられる。隆起から沈降に転じた時期は、後述するGPS測量の結果も考慮すると溶岩ドームが出現し

* Received 31 July, 1992

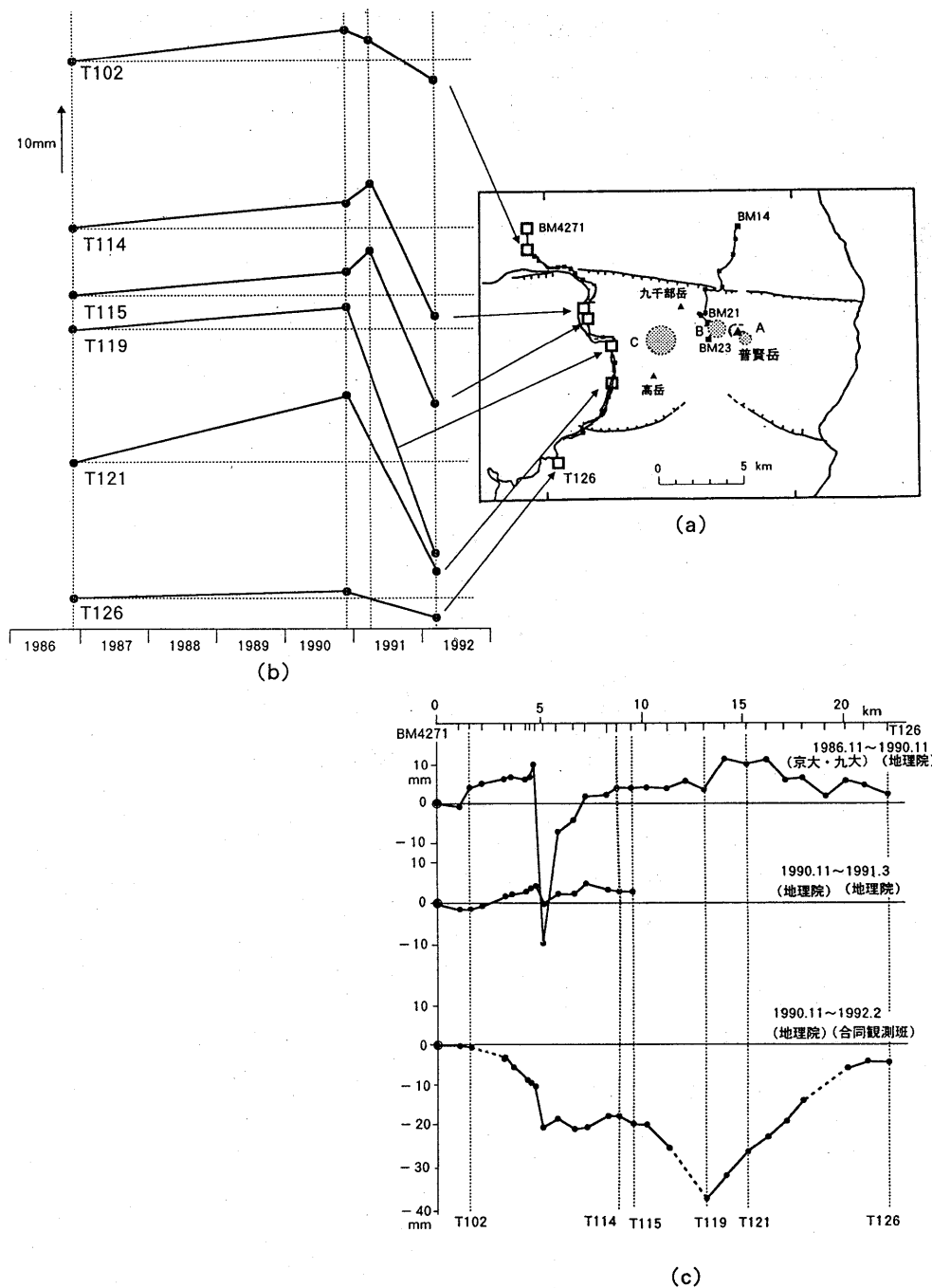
た1991年5月であると考えられる。

BM 4271 を基準点とした6つの水準点の比高の時間的変化を1986年11月を起点にして第2図(b)に示した。西海岸中央部の地盤は1990年11月～1992年3月の間、それ以前より大きなレートで隆起していた可能性がある。また、1991年3月～1992年2月の沈降によって、1992年2月現在の比高は1986年のレベルより下がっている。この沈降がそれまでに蓄積していたマグマの放出によって生じたものと考えれば、島原半島西岸の隆起は1986年11月以前に既に開始していた可能性が高い。隆起開始の時期および蓄積されたマグマの量の推定値については後述する。



第1図 雲仙岳の上下変動、円形部分A,Bは山頂部および西斜面に推定された力源の位置を示す(水準測量)

Fig.1 Vertical displacement along the leveling routes at Mt. Unzen. Circles A and B indicate the estimated location of pressure sources deduced by ground deformation (May, 1991～February, 1992).



第 2 図 島原半島西海岸の上下変動（水準測量）

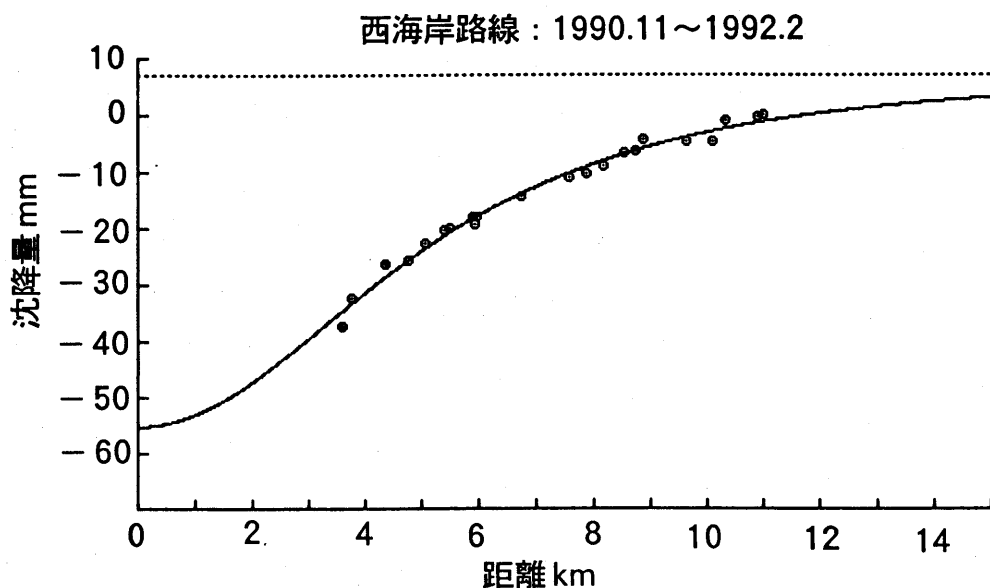
(a) 水準路線図，円形部分は推定された力源の位置を示す。

(b) 主な水準点の標高の時間的変化 (c) 測量期間毎の上下変動

Fig. 2 (a) Leveling route along the west coast of the Shimabara Peninsula. Circles indicate the estimated location of pressure sources deduced by ground deformation (November, 1986~February, 1992).

(b) Vertical displacement of bench marks with time.

(c) Vertical displacement along the route.



第 3 図 力源からの水平距離と沈降量との関係。
実線は茂木モデルによる計算値を示す（水準測量）

Fig.3 Relation between the vertical displacements of the ground and the horizontal distances from the estimated pressure source C.
Curve indicates the relation between the vertical displacements and the horizontal displacements calculated from the Mogi's model.

1990年11月～1992年2月の測量結果に茂木モデルを適用して力源の位置を推定した。測定値と計算値の一致が最も良くなる力源の位置は普賢岳の西方約4 km、深さ約7 kmとなる（水平位置を第2図に円Cで示した）。推定した力源からの水平距離と沈降量の関係を第3図に示す。実線は、茂木モデルによる理論曲線である。測量結果は、茂木モデルによって充分説明されるといえよう。但し、測線の分布が南北方向に卓越し、東西方向の広がりが狭いため、力源の位置を東西方向に ± 3 km、深さを5～9 kmの範囲で変化させてもかなり良い一致がみられる。地表面の推定沈降体積は、1991年3月の時点でも地盤が隆起していたことを考慮すると約 $2 \times 10^7 \text{ m}^3$ となる。力源の位置決定の誤差を見込むと、地表の沈降体積は $1.5 \sim 4.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ の範囲であり、活動開始以来1992年2月迄の総噴出物量約 $8.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ ⁴⁾の約1/5～1/2に相当する。力源Cは普賢岳付近の力源BおよびAに比べて深く、しかも惹起した沈降体積が1桁以上大きいことから、力源Cは力源BおよびAに対して溶岩を供給するマグマ溜りに相当すると考えられる。

地表の沈降体積と固体噴出物量との比は、ハワイ、桜島の例では1/2～1程度とされている。雲仙火山の場合、この比はハワイ、桜島の値と比較すると小さいが、その要因として、

- i) 溶岩の物性の違い、
- ii) 力源の位置の決定誤差による沈降体積の過少見積り、
- iii) 溶岩ドーム出現直前（1991年5月）の測定値がないことによる沈降量の過少見積り（1991年5月直前に隆起率が増大した場合）、

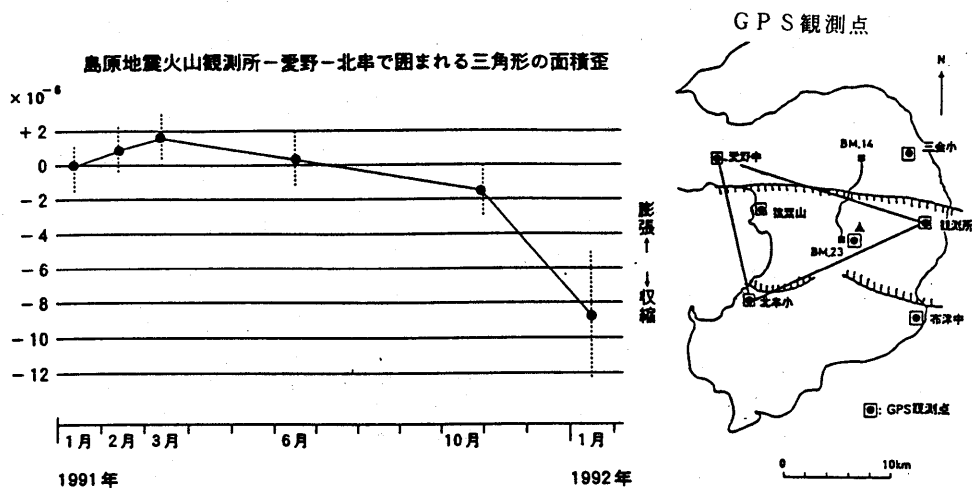
iv) さらに深部から溶岩の供給が続いているため、流出量に見合うだけの沈降を示さない、と考えられる。現段階では上述した要因のうちどれが主要原因であるかは断定できない。

1992年2月までの溶岩流出量は約 $8.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ で、既に1792年の噴火の約4倍に達している。しかも、1991年6月以降溶岩の流出率はほぼ一定(約 $3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{日}$)を保っている。このことは、今回の噴火前に地下に蓄積し潜在的に噴出する可能性のある溶岩が雲仙岳の有史時代の噴火に比べてはるかに多量であったことを示唆する。地盤変動観測でこれまでに得られた結果をもとに、いくつかの仮定をおいて、予想される溶岩噴出総量についての試算を行ってみた。

前述のように1986~1991年の間には隆起が認められたことから、マグマの蓄積による地盤の隆起が噴火前から進行していたと考えられる。隆起過程での力源の位置が1991年以降の沈降過程の場合と同じと仮定して、その4年間の地盤の隆起容積を見積もると約 $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ となる。隆起率は $5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{年}$ である。地盤の隆起開始時期として2つの場合を想定して1991年までの隆起体積を試算する。1792年の噴火以降この隆起率で地盤の上昇が続いていたとすれば、過去約200年間の隆起容積は $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ となる。また、1922年の島原地震以降群発地震が断続的に続いている。そこで1922年を隆起開始時期と考えると、過去70年間の隆起体積は $3.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ となる。溶岩ドーム出現以降1992年2月までの沈降体積は約 $2 \times 10^7 \text{ m}^3$ であるから、1792年以降あるいは1922年以降の隆起分の約1/5あるいは1/2が解消されたことになる。地盤が元のレベルに戻るまで溶岩の噴出が続くとすれば、今回の溶岩の噴出総量は1992年2月までの噴出量の2~5倍の $(1.6 \sim 4) \times 10^8 \text{ m}^3$ と見積もられる。かなり荒い見積りではあるが、200年前の噴火直後を隆起開始時点と仮定した場合の $4 \times 10^8 \text{ m}^3$ が今回の噴火による溶岩噴出総量の上限を与えるものと考えられる。

2. GPS測量

島原半島西側の2点と東側の1点からなる三角形の面積歪の時間的変化を第4図に示した。面積歪は

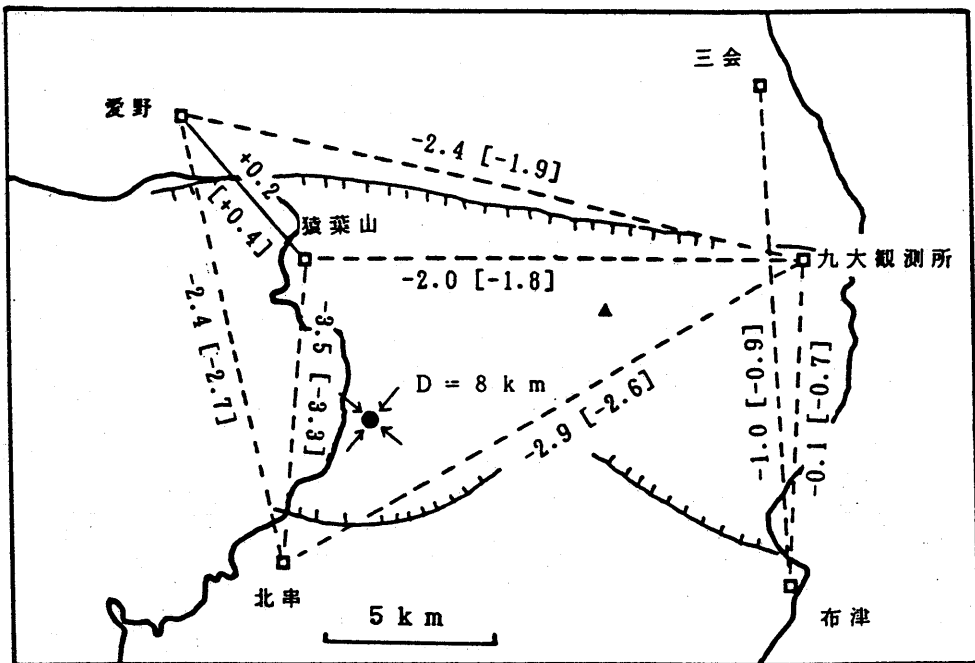


第4図 面積歪の時間的変化(GPS測量)

Fig.4 Change of the dilatation of the Shimabara Peninsula.

1991年3月に最大($+2 \times 10^{-6}$)となり、6月以後減少している。1991年3月から6月の間のどの時点で膨張から収縮へ転じたかはこの間測定していないため、明言できないが、1990年11月の噴火開始以後も膨張を続けていること、および島原半島西海岸でも1991年3月まで隆起が続いていたことからみて、溶岩ドームが出現した1991年5月の可能性が高い。いずれにしても、1991年1月～1991年3月の間の面積歪の増大傾向(膨張)とその後の減少傾向(収縮)は、この間の西海岸における上下変動(第2図)と調和している。なお、1992年1月の測量期間中は衛星からの情報にSA (Selective availability) が掛かっており誤差が大きくなっている。

GPSデータからも島原半島西の力源位置の推定を行った。第5図に、1991年3月～10月の間の辺長変化に茂木モデルを適用して得られた力源の位置および辺長変化の実測値と計算値との比較を示した。力源の位置は島原半島西海岸の水準測量の結果から推定された位置と比較して、南西へ約3 km ずれ、また深さは約1 km 深くなっている。GPSの測定精度(1 ppm)に比べて実測された辺長変化量(0.1～2 ppm)が十分大きくはないこと、水準測量から推定された力源の位置を仮定してもこの辺長変化を説明できること、水準点の分布が南北方向に偏っていて水準測量から推定した力源の位置に前述



数値：GPS実測値【モデル計算値】

単位：cm

第5図 辺長変化(1991年3月～10月)と力源の位置(GPS測量)

Fig.5 Distance changes detected by the GPS observations (1991.3 - 1991.10) and the estimated location of the pressure source.

のような誤差が含まれることを考慮すると、辺長変化と島原半島西岸の上下変動は同じ力源の圧力変化を反映しているものと考えられる。

3. ま と め

島原半島西岸の水準測量および島原半島でのGPS繰り返し測定によって得られた地盤変動データを解析した結果、島原半島西部地下に今回の溶岩流出活動に関わるマグマ溜りの存在が推定された。

- 1) 島原半島西海岸の地盤は、1986年11月から1991年3月まで隆起し、それ以降1992年2月の間に顕著な沈降を示した。GPS測量によれば、普賢岳を含む島原半島西部の地盤は、1991年1月～3月の間膨張を示し、同年6月までの間に収縮に転じ、1992年1月まで収縮傾向が続いている。島原半島西部の地盤は、普賢岳の噴火が開始した1990年11月以降も隆起膨張を続け、溶岩ドームが出現し溶岩の流出が始まった1991年5月頃沈降収縮に転じたと考えられる。
- 2) 1991年11月～1992年2月の間の島原半島西海岸の上下変動、1991年3月～10月の辺長変化の双方から島原半島西部に地盤変動をもたらす力源の存在が推定された。共に島原半島西部地下に力源が存在することを示唆する。上下変動を解析して得られた力源の推定位置は、普賢岳の西方約4 km、深さ約7 kmである。1991年3月～1992年2月の間の地表面の推定沈降体積は $1.5 \sim 4.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ と推定され、1992年2月までの噴出溶岩の推定値約 $8.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ の約1/5～1/2にあたる。この力源は普賢岳地下へ溶岩を供給しているマグマ溜りに対応すると考えられる。
- 3) 雲仙岳北山麓では、1991年10月～1992年2月の間には、1991年8月～10月に見られたような明瞭な沈降は認められなかった。山頂部および雲仙岳西斜面に推定された力源は、ほぼ平衡状態を保っていると考えられる。これら2つの力源での溶岩の供給と放出はほぼ均衡しているものと推定される。

参 考 文 献

- 1) 京都大学防災研究所附属桜島火山観測所(1992): 雲仙岳周辺の地盤変動(1991年), 予知連会報, 51, 74-79.
- 2) 江頭庸夫・清水 洋・福井理作・桑原総一・園田忠惟(1987): 雲仙地溝における垂直変動, 自然災害科学研究西部地区部会報, 4号, 75-78.
- 3) 建設省国土地理院(1991): 愛野町～南串山町間の上下変動, 第57回火山噴火予知連絡会資料
- 4) 長岡正利・益田幸雄(1992): 雲仙岳1990～1992年噴火の溶岩噴出量の計測, 国土地理院時報, No.5, 19-25.