

# 桜島火山の火山性微小地震と爆発の研究 (2)

——火山性地震の震源分布——

西 潔

## AN INVESTIGATION ON THE VOLCANIC MICRO-EARTHQUAKE AND VOLCANIC EXPLOSION OF SAKURAJIMA VOLCANO (2)

——On the Hypocentral Distribution of the Volcanic Earthquakes——

By *Kiyoshi NISHI*

### Synopsis

In order to make clear the location of hypocenter of volcanic earthquakes originating in the Sakurajima volcano, temporal seismometric observation was performed. Eleven observation points were distributed around the crater. Analyzing the data of March and April, 1970, the following results are obtained.

- 1) The large majority of hypocenter of A type volcanic earthquakes are deep. The large part of hypocenters of the volcanic earthquakes which are not recognized clear P and S wave phase, are shallow, but there are some one which are deep.
- 2) The seismicity at the crater rim is heighter than that within the crater.
- 3) There is possibility to know the new volcanic active place from the hypocenter distribution of the shallow earthquakes in the volcanic region.
- 4) Hypocenter distribution which suggests the existance of magma reservoir, is obtained.

## 1. 緒 言

活火山の周辺では多くの震が発生しており、これ等の地震の震源分布や発震機構の解明は、火山現象の理解に欠くべからざる課題である。

桜島火山に発生する有感程度の大きな地震に関しては、数点の *S-P* 時間、あるいはそれ等と初動方向の組合せから震源が求められている。また、1968年5月の地震群の際は、気象庁の火山機動観測班と吉川・西によってそれぞれ臨時の多点観測が行なわれた。前者は煤書き記録によって<sup>1)</sup>、後者はデータレコーダの記録によって<sup>2)</sup>、震源が求められた。一方、火口周辺で発生している微小地震や微動を対象にして、波動の減衰から震源を推定したり<sup>3)</sup>、tripatiteによる観測が行なわれてきた<sup>4)5)</sup>。しかし震源に関しては震源決定方法の性質上、あまり精度は望めない。そこで、この種の地震の震源を精度よく求め、magmaの移動径路や火山の表面活動が行なわれている火口と震源との関係等について調べることに、更に発震機構に関する情報を得るため、初動の押し引きの地理的分布を調べることに、この二つを目的として観測を行なった。このうち、初動の押し引き分布については更に検討すべき点が多いので今回は震源分布について述べる。

## 2. 観 測

### 2.1 観測地点と観測方法

観測地点を Fig. 1 に示した。観測地点は合計 11 カ所で、全て上下動の動コイル型電磁式地震計を設置した。地震計の出力は、通信線で春田山、有村、黒神の観測基地に導き、前置増巾器、主増巾器を通して増

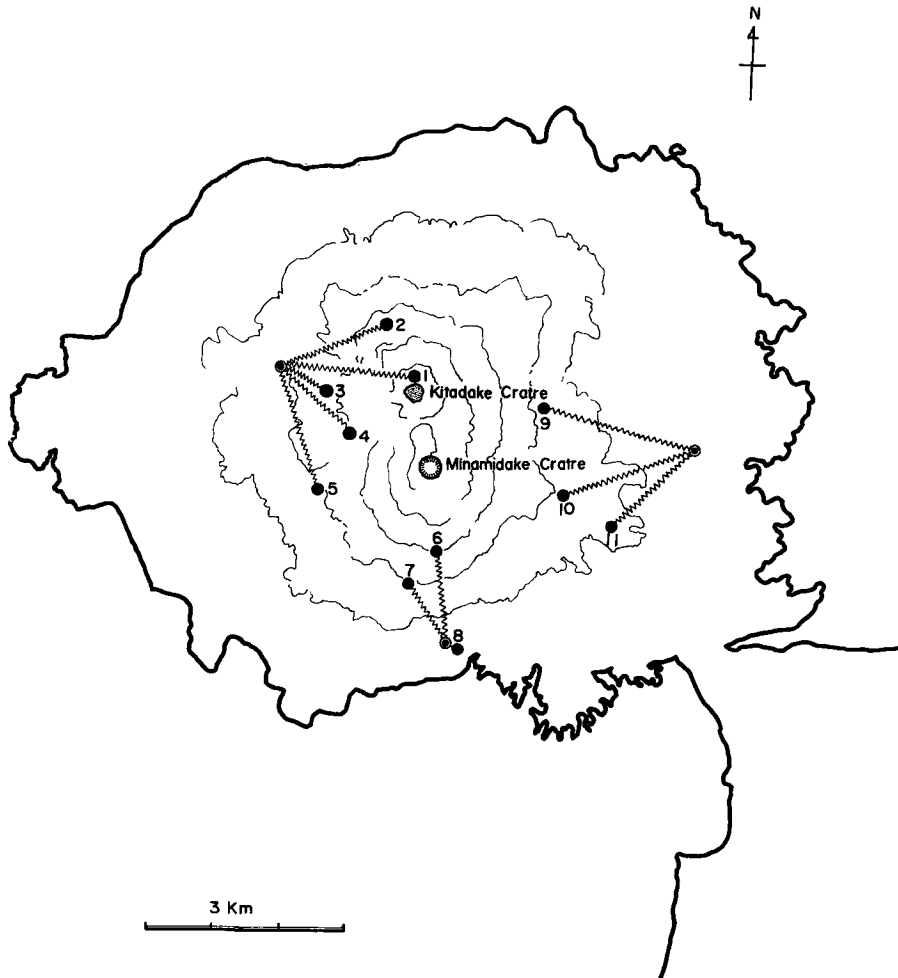


Fig. 1 Location of temporary observational stations. Double circles indicate bases of observation.

巾し、データーレコーダに収録した。記録の再生は電磁オッシログラフとペンき書オッシログラフを用いて行なった。尚、データーレコーダが三台に分かれているため、相互の time mark を正確に比較する必要がある、このため水晶時計からの秒信号と JJY 信号を同時に記録して較正した。観測システムの Block diagram と周波数特性を Fig. 2 と Fig. 3 にそれぞれ示した。

観測は 1969 年 12 月から 1970 年 4 月迄行ったが、ここでは観測システムの状態が落ち着いた 1969 年 3 月と 4 月の記録を用いた。

## 2.2 震源決定方法

Photo. 1 と Photo. 2 に再生記録の例を示し、Photo. 1 は A 型地震と称せられ、P, S の相が明瞭で、

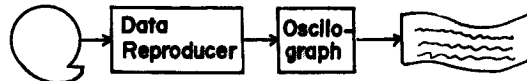
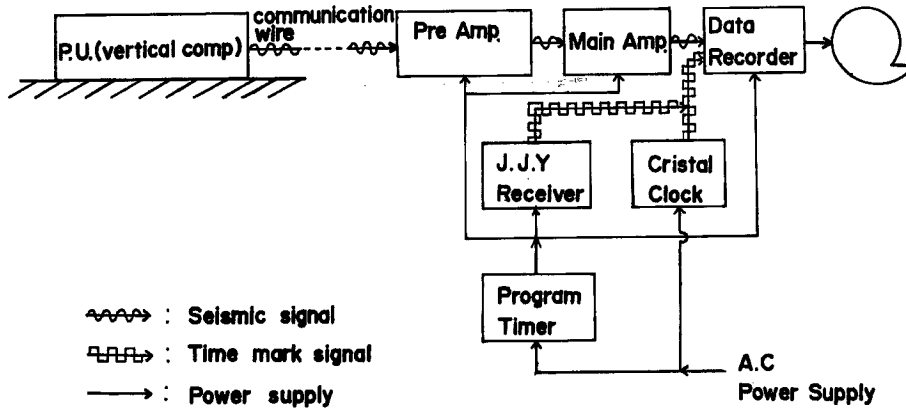


Fig. 2 Block diagram of the observation system.

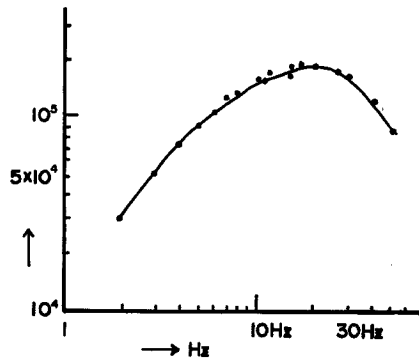


Fig. 3 Overall frequency characteristics of the system.

周期が短い波群から成っているものの例で、Photo. 2, は S の相が不明瞭で、A 型に比べて周期の長い波群からなっているものの例である。震源はこのような記録から初動の着震時を読み取って決めた。

桜島の地下構造については不明であるので均質な構造を仮定した。尚、速度も未知として求めたところ殆んど reasonable solution が得られなかった。そこで速度を 1.5 km/sec から 0.2 km/sec おきに 6.0 km/sec まで変化させて残差の最小になる値を求めた。この結果、かなりのばらつきはあるが、2.1km/sec で最小になる場合が比較的多かったのでこの値を採用した。これ迄の観測結果と考へ合せると、この値は桜島の浅い部分の速度をよく代表しているように思われる。

震源を求めるために、先ず震源距離と着震時の関係式 (1) を適当な第 1 近似を用いて線型化する。次に初動の明瞭さの程度に応じて重みをつけて最小自乗処理を行ない (2) の正規方程式を得る。(2) を解いて近似値に対する補正值  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t$  を求め次の近似値を得て、(1) の線型化以下を、 $|\Delta t| < 0.001 \text{ sec}$  とする迄くり返した。

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2 = V^2(t_i - t_0)^2 \dots\dots\dots (1)$$

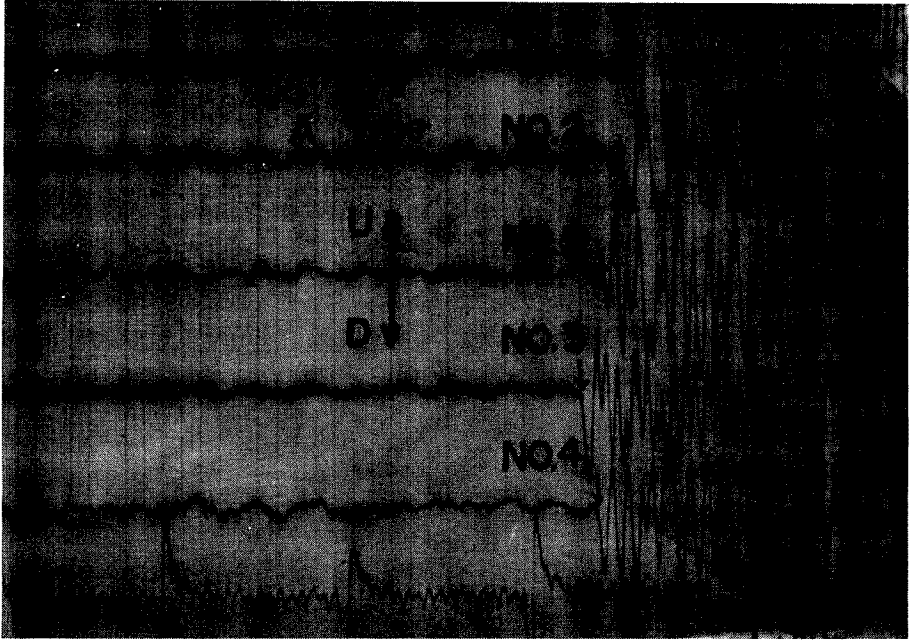


Photo. 1 Example of the reproduced record of A type earthquake.

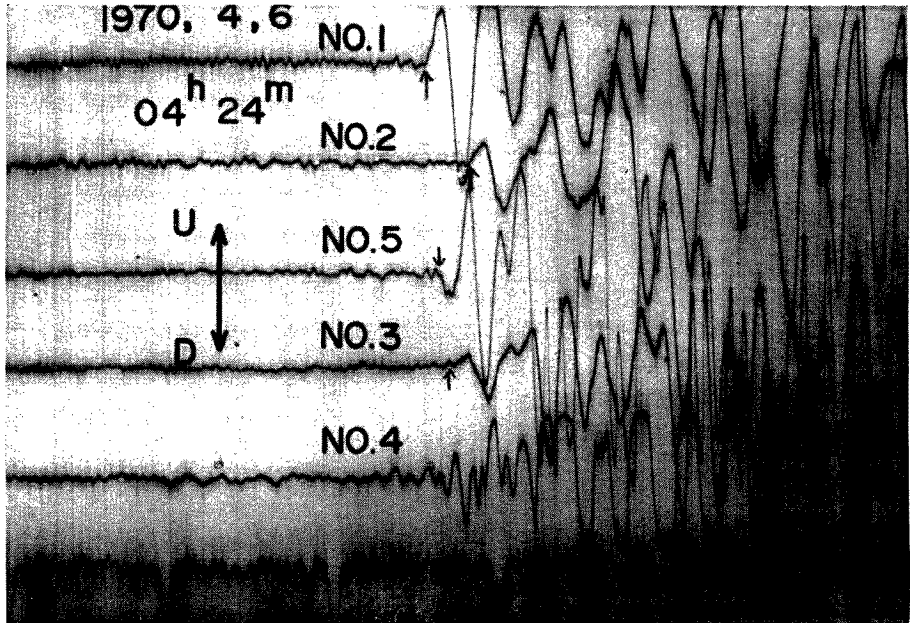


Photo. 2 Example of the reproduced record.

$x_i, y_i, z_i$ : 観測点の座標

$x_o, y_o, z_o$ : 震源の座標

$t_i, t_o$ : 着震時及び発震時,  $V$ : 地震波速度

$$\begin{pmatrix} \sum w_i a_{ix}^2 & \sum w_i a_{ix} a_{iy} & \sum w_i a_{ix} a_{iz} & \sum w_i a_{ix} \\ \sum w_i a_{ix} a_{iy} & \sum w_i a_{iy}^2 & \sum w_i a_{iy} a_{iz} & \sum w_i a_{iy} \\ \sum w_i a_{ix} a_{iz} & \sum w_i a_{iy} a_{iz} & \sum w_i a_{iz}^2 & \sum w_i a_{iz} \\ \sum w_i a_{ix} & \sum w_i a_{iy} & \sum w_i a_{iz} & \sum w_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum w_i a_{ix} T_i \\ \sum w_i a_{iy} T_i \\ \sum w_i a_{iz} T_i \\ \sum w_i T_i \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

$$a_{ix} = \frac{x_o' - x_i}{VR_i}, a_{iy} = \frac{y_o' - y_i}{VR_i}, a_{iz} = \frac{z_o' - z_i}{VR_i}, T_i = t_i - \left( \frac{R_i}{V} + t_o' \right)$$

$R_i = \sqrt{(x_o' - x_i)^2 + (y_o' - y_i)^2 + (z_o' - z_i)^2}$ ,  $x_o', y_o', z_o', t_o'$ : 震源及び発震時の近似値

$w_i$  は初動の明瞭さに応じて与える重みで、Fig. 4 に示すように、初動の読み取り誤差の自乗に逆比例した値を用いた。火山性の地震の初動の不明瞭なものも多いので、このようにして arrival time が不明として捨てるべき data もそれ相応の精度に応じて活用した。計算の結果は、震源をほぼとり囲む位置に 11 カ所の地震計を設置できたことにより、十分の精度で震源が求まった。Fig. 5 に震源位置の probable error の頻度分布を示した。深さについてはやや悪いが、震央に関しては大部分が 0.2 km 以内であることがわかる。

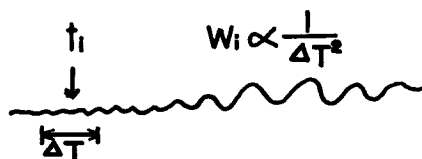


Fig. 4 Method of obtaining the value of weight,  $w_i$ .

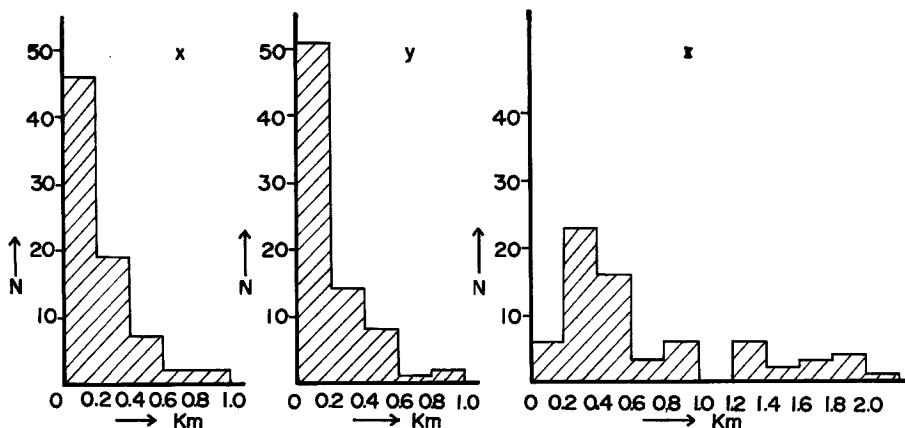


Fig. 5 Frequency distribution of probable errors of focal elements.

### 3. 結 果

得られた震源を Figs. 6~8 に示した。Fig. 6 は震央分布を示し、Fig. 7, Fig. 8 は東西、南北の垂直断面をそれぞれ示している。図の中で⊗印は P, S の相のはっきりした A 型、⊙印は A 型に近いが短周期成分の欠けた型の地震、●印は S の相のはっきりしない型の地震をそれぞれ表わしている。これ等の地震の判定は、火口から 1.6 km の地点にある引の平観測点の常時地震観測の煤書き記録によって行なった。尚、Fig. 7, Fig. 8 には深さ 20 km 以上と求められた 2 つの A 型は省略してある。

さて、Fig. 6 の震央分布から次のことが云える。まず、S 相のはっきりしない地震の大部分は、現在活動している南岳の火口周辺で発生していることが確認された。更に細かく見るならば、火口内よりむしろ火口の周壁に多く発生していることがわかる。

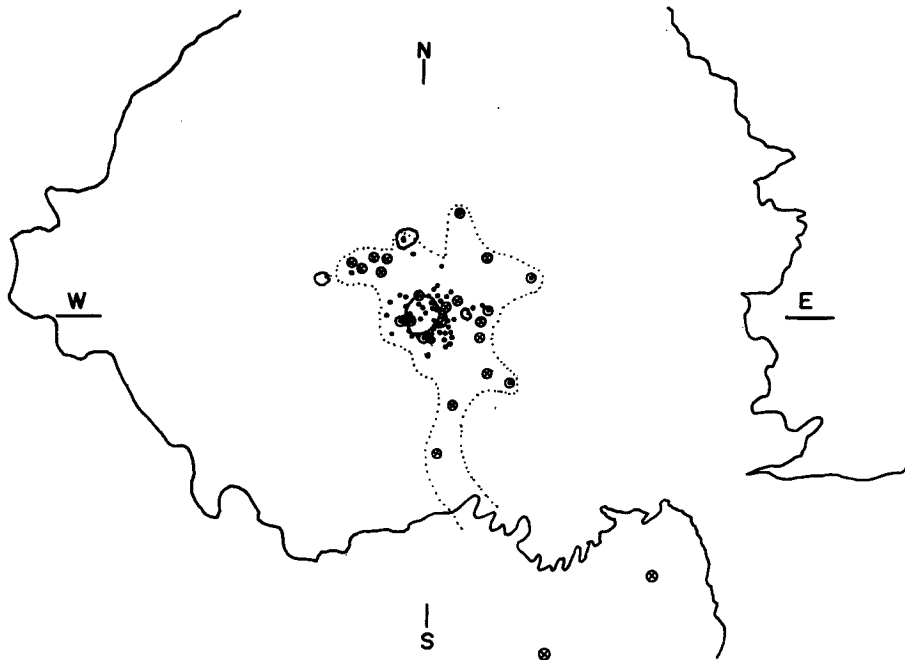


Fig. 6 Epicenter distribution of the earthquakes.

この事は、カルデラの縁附近に地震が多い事と類似した現象で興味深い。

次に、現在は活動を行っていない直径約 300 m の北岳火口の浅い部分では、地震が発生していない。これと対照的に、南岳火口の東側に多くの地震が発生している。この地域は南岳東側の B 火口の拡大成長及び南岳の南東外壁の新火口の成生等、表面現象が最近活発化している地域である。尚、外壁新火口はこの観測の 5 カ月後に生じた。これ等のことは、この種の地震の震源を正確に知ることによって、火山の活動地域の移動を知ることが出来ること示しているように思われる。

次に Fig. 7, Fig. 8 の東西、南北の垂直断面図より次の事がわかる。

まず、S の相の不明瞭な型の地震の大部分は浅い所で発生しているが、深いものもある。これに対し A 型は深いものが多い。

Fig. 7 の東西の断面図によっても、火口近くの浅い所で発生している地震は、火口の東側で多発していることがわかる。即ち、震源は火口から東側に傾斜して深くなり分布している。又 Fig. 7 によれば、0.5 km~2.5 km の間で震源域の拡大が見られる。同様な傾向は Fig. 8 の南北断面図にも見られる。この事はよく云われる火山の magma 溜りの存在を暗示しており大変興味深い。この震源域が拡大した部分を過ぎて更に深くなると、震源域は急に狭くなり細い帯状になる。この帯状は南々東に向って深くなり、更に深部からの magma の移動径路を示しているように思われる。しかしながら、これ迄の桜島の magma の供給源は、今回は全く地震が観測されなかった桜島北部の始良カルデラの中心部にあるとされて来ているので、この地域を含めた広い範囲で地震観測を行ない更に深い magma 溜りや magma の移動径路について明らかにする必要がある。

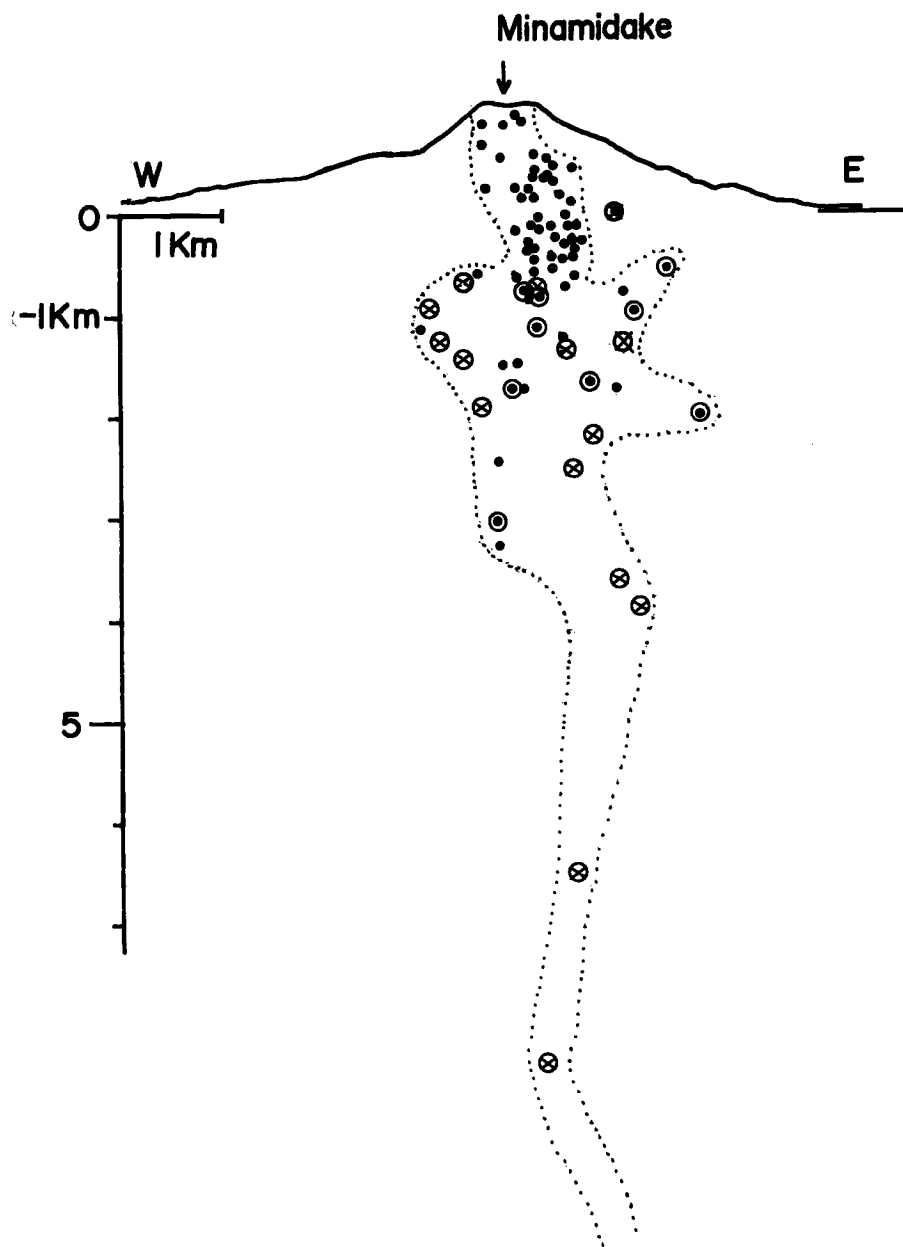


Fig. 7 Hypocenter profile along to the section EW.

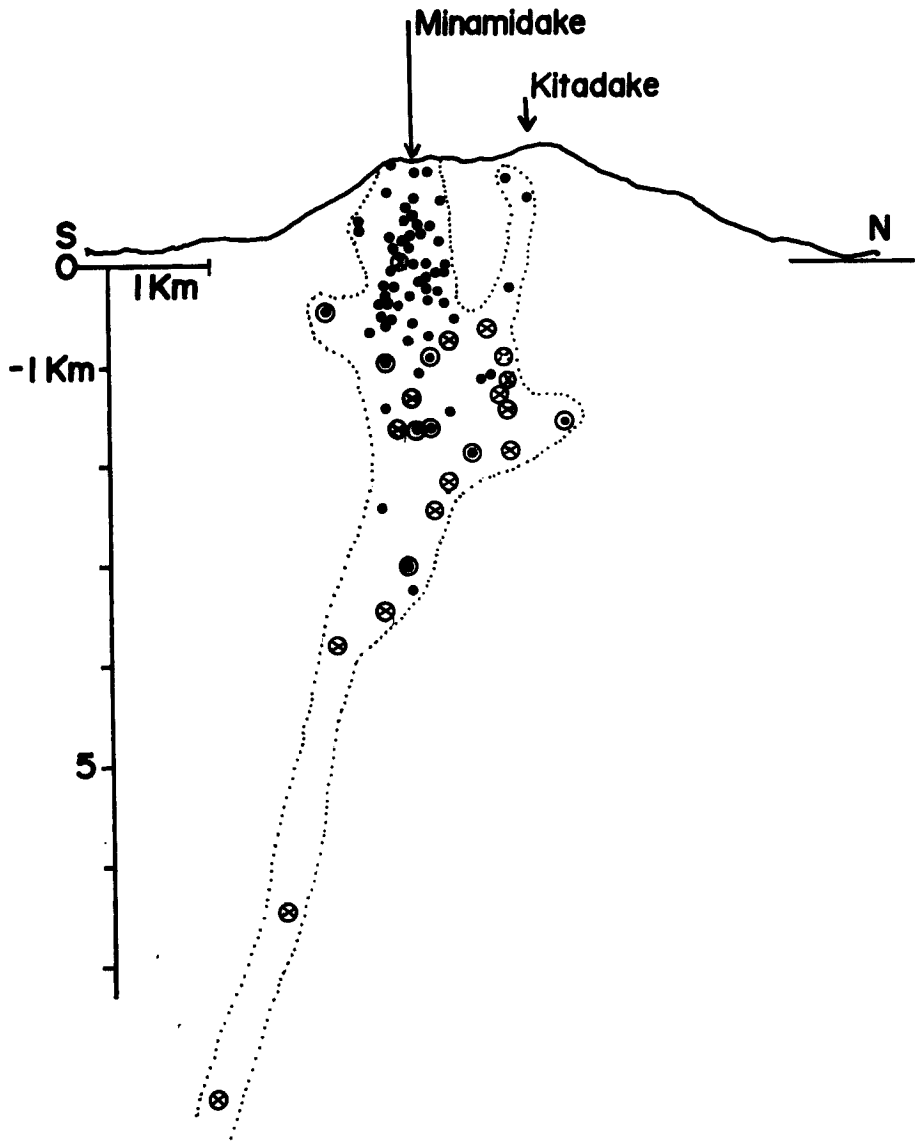


Fig. 8 Hypocenter profile along to the section NS.



#### 4. 結 語

桜島火山の火口周辺の 11 カ所に地震計を設置して臨時に高感度観測を行ない次の結果を得た。

1) A型地震は深いものが多い、Sの相のはっきりしない型の地震の大部分は火口周辺の浅い所で発生していることが再確認されたが、深いものもある。又火口内よりはむしろ火口壁で多く発生している。

2) 現在活動している南岳火口の東側に寄った地域に浅い地震が多く発生していることが判明した。この地域は小火口の成長や観測終了5カ月後に新火口の発生をみる等火山活動の活発な地域である。従って浅い地震の震源分布から火山の新しい活動地点を予想することの可能性が考えられる。

3) magma溜りや、magmaの移動径路を暗示するような震源分布が得られた。即ち、地震波速度を2.1 km/sec.と仮定した場合の震源分布によると火口の南々東から火口に向って magmaは上昇し、火口の下、海面下0.5~2.5 kmのあたりで magma溜りを形成しているように見える。

最後にご指導いただいた京都大学防災研究所附属桜島火山観測所々長吉川圭三教授に感謝いたします。又地震計の設置を始め多くの点でご助力をいただいた同観測所の高山鉄朗君に感謝いたします。この研究の一部は、1969年度科学研究費奨励研究(A)によって行なわれた。又数値計算は全て九州大学大型計算機センターのFACOM 230-60によって行った。関係者にお礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 気象庁火山機動観測班、機動観測実施報告、第4号、昭43. 12, pp. 5-14.
- 2) 吉川圭三・西 潔：桜島深部の地震活動について、京都大学防災研究所年報、第29号A,昭44. 3, pp. 57-65.
- 3) 水上 武・茂木清夫・平賀士郎・宮崎 務：桜島の爆発的噴火と同火山に発生する地震の研究（I）、火山、第2集、第2巻、第2号、昭32. 12, pp. 77-90.
- 4) 渡辺 晃：桜島の火山性微動について、火山、第2集、第6巻、第1号、昭36. 6, pp. 29-41.
- 5) 吉川圭三・和田卓彦・加茂幸介・小野博尉：桜島の火山性地震の性質について（第1報）、火山、第1集、第2巻、第8号、昭38. 6, pp. 11-19.