

1996年口永良部島火山の地震活動の活発化について

山本圭吾・井口正人・高山鐵朗・石原和弘

要 旨

口永良部島火山に発生する火山性地震は、P波、S波の明瞭なA型、高周波成分の卓越するHF型、高周波成分と低周波成分の混在するHybrid型、低周波成分の卓越するLF型および単一の周波数にスペクトルのピークを持つMonochromatic型に分類される。1995年以前は、1ヶ月に10個以下のHF型地震が観測されていたが、1996年1月初めの比較的規模の大きいA型地震とLF型地震の発生以後、HF型の発生頻度が高くなっただけでなく、低周波成分の含まれるHybrid型、LF型およびMonochromatic型が発生するようになった。1996年5月から6月に、西側山腹に4点、山麓に6点地震計を設置し、臨時地震観測を行った。島内における砕石発破を利用してP波速度構造を求めた。 $V_p = 3.3$ km/sの半無限均質構造を仮定して震源決定を行ったところ、A型地震は口永良部島北東部に、その他の種類の地震は、新岳の火口直下海拔0m付近に集中していることがわかった。LF型およびMonochromatic型の初動は、全観測点において引きであり、4象限型の発震機構で説明するのは困難である。

キーワード：口永良部島、火山性地震、震源分布、発震機構

1. はじめに

口永良部島火山は鹿児島県屋久島の西方14kmにある火山島である。記録に残されている最も古い噴火は1841年であり、以後、数年から数十年の間隔で新岳山頂火口およびその東側の割れ目において水蒸気爆発が発生している。1933～34年の噴火では、新岳南東の七釜集落が全滅し、死者8名、負傷者26名の災害が発生した。1966年の噴火では、噴石の落下により3名が負傷した。最近では1980年9月28日に新岳火口東の割れ目において水蒸気爆発が発生したが、以後、十数年以上にわたって噴火が発生していない。

同火山では、1969年に鹿児島県地震火山協議会により地震計が設置され、常時観測が行われてきたが、火口からの距離が大きいために、微小な火山性地震活動の推移を捉えるのが困難であった。また、震源の位置

に関しては、臨時3点観測網により震源の位置の推定が試みられ（例えば、角田ら、1971；加茂ら、1984）、大部分の地震が新岳山頂付近に決められているが（加茂ら、1984）、震源分布の形状や深さについて議論できるほど、十分な数と正確な震源位置は得られていない。

京都大学防災研究所附属火山活動研究センターでは、1991年12月の噴煙異常の通報を契機に火口から0.4 km離れた地点で常時地震観測を開始した（京都大学防災研究所、1992）。1992年以後、火山性地震の発生回数は1ヶ月に10回以下であったが、1996年1月以降、1ヶ月に数十個の地震が観測されるようになった（京都大学防災研究所、1995；1996）。そこで、口永良部島における火山性地震の精密震源決定を目的に、1996年5月から6月にかけて多点による臨時地震観測をおこなった。本稿では、1996年の地震活動の活発化の経過と震源位置および発震機構について述べる。

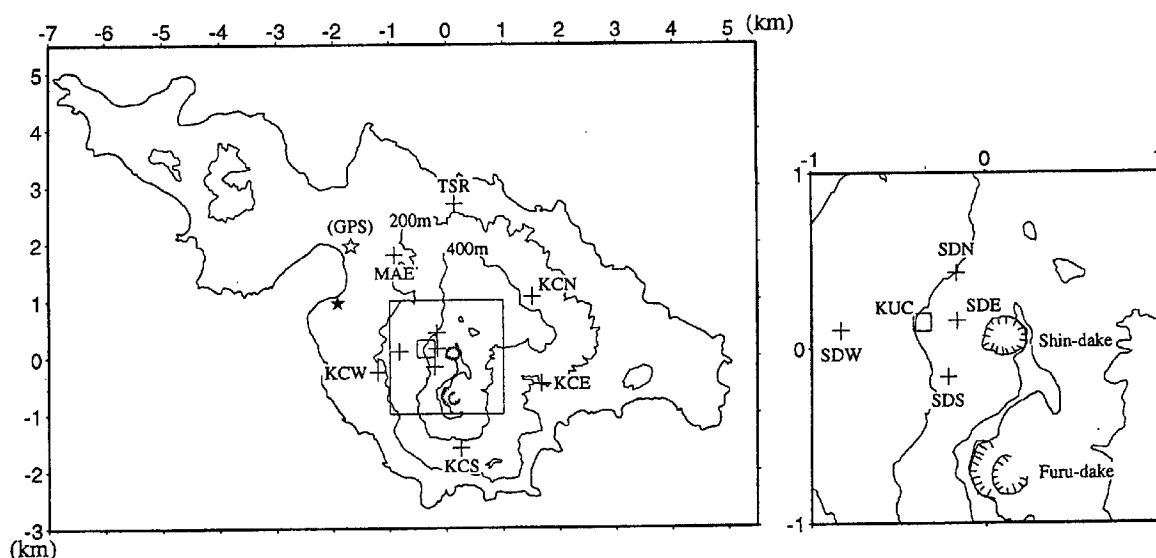


Fig. 1 Left: Locations of temporary seismic stations (crosses) and permanent one (open rectangle). Locations of our permanent GPS station (open star) and the quarry blast on June 1, 1996 (solid star) are also plotted. Right: Magnification of the summit area indicated as a large rectangle in the left-hand side figure. The plot origin is (130° 13.0'E, 30° 26.5'N) in both figures.

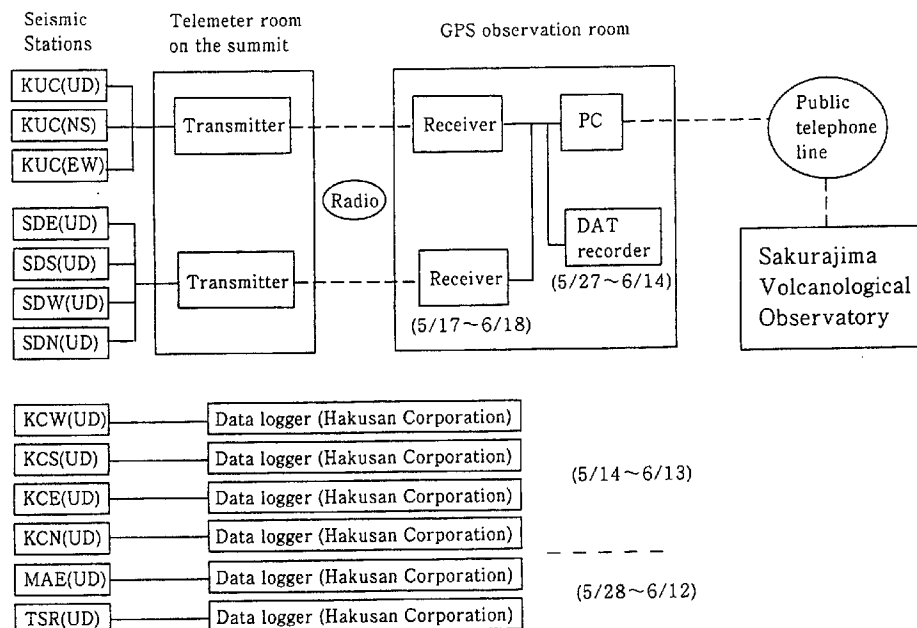


Fig. 2 Block diagram of observation system at Kuchierabujima volcano.

2. 地震活動の推移

定常地震観測点の位置を Fig. 1 に示す（小四角）。地震計は固有周波数が 1Hz で、3 成分からなる。地震

波形は、無線テレメターにより麓の GPS 観測室（Fig. 1 の白星印）へ伝送され、PC にサンプリングレート 100Hz にてイベントトリガー方式で収録され、一般電話回線を用いて 1 日に 4 回桜島火山観測所に伝送され

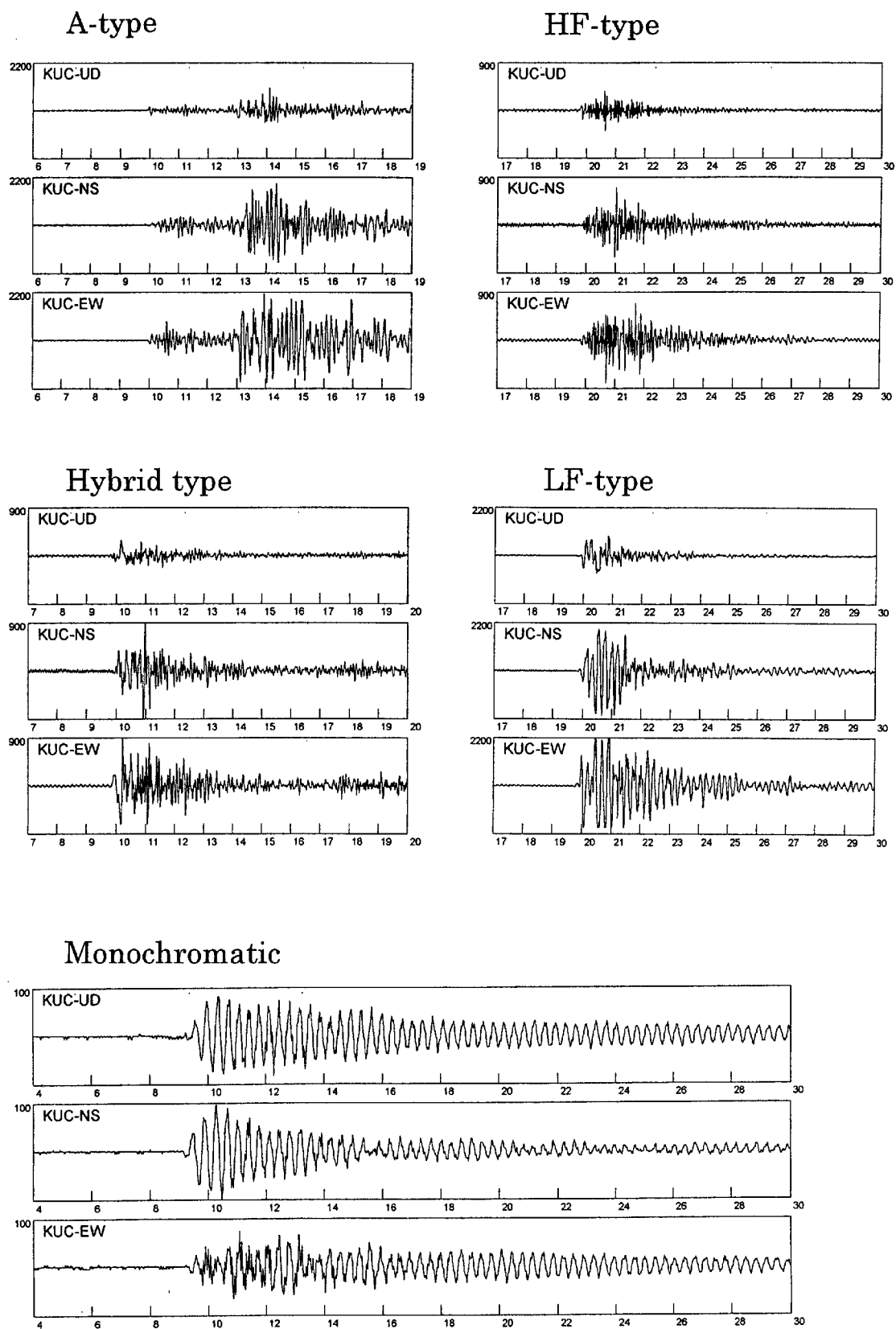


Fig. 3 Typical seismograms of volcanic earthquakes observed at Kuchierabujima volcano. Three component seismograms obtained at permanent station (KUC) are plotted.

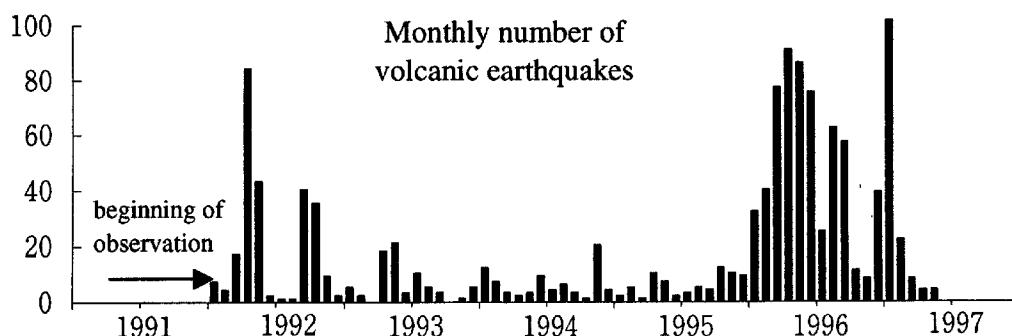


Fig. 4 Monthly number of volcanic earthquakes at Kuchierabujima volcano for the period from January 1991 to May 1997. The numbers are counted based on seismograms observed at permanent station (KUC).

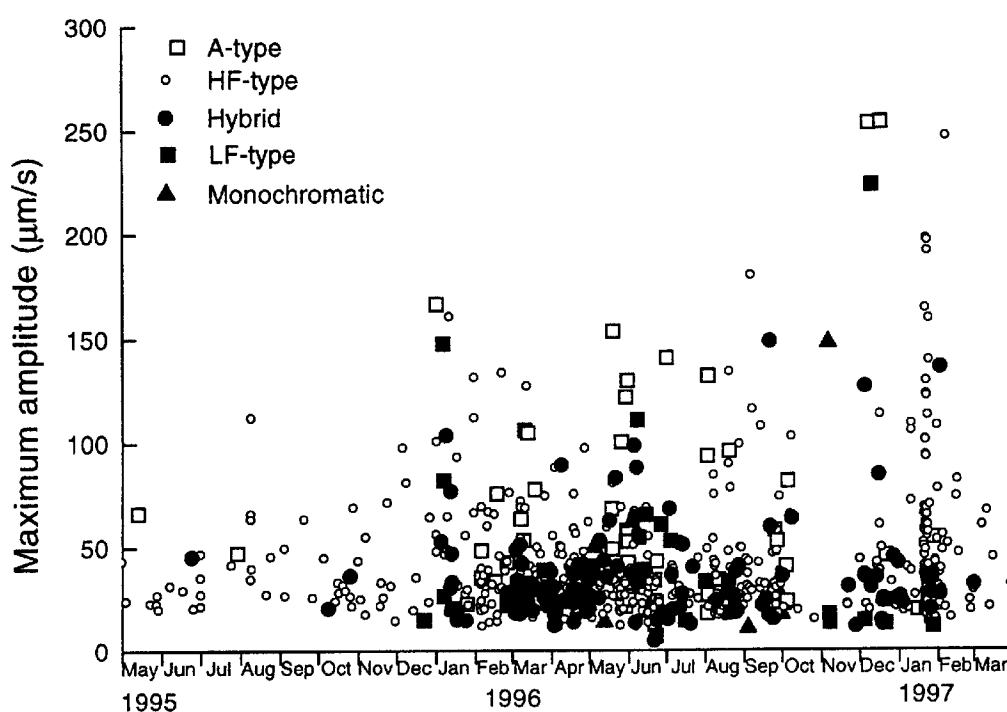


Fig. 5 Time variation of 0-to-peak amplitudes in the vertical component seismograms observed at permanent station (KUC) for the period from May 1995 to March 1997. The amplitude of each 5 type event is separately plotted.

ている (Fig. 2 の観測点 KUC)。

この定常地震観測において得られる典型的な地震波形例を Fig. 3 に示す。口永良部島で発生する火山性地震は、この 5 つのタイプに分類することが可能である。ここでは、通常のテクトニックな地震に類似し、P 波および S 波位相が識別できるものを A 型地震、一方、S 波位相が不明瞭な地震のうち 10Hz 以上の高周波が卓越するものを HF 型地震、2~4Hz の低周波成分が卓越するものを LF 型地震、その両者が混合しているもの

を Hybrid 型、また長いコーダをもち単色波的な様相を呈すものを Monochromatic 型と呼ぶことにする。

Fig. 4 に、1991 年 12 月の定常地震観測開始から 1997 年 5 月までの火山性地震の月別頻度を示す。観測開始直後の 1992 年 4 月には 84 個を観測したが、その後しだいに数が減りほぼ月に 10 個程度以下で推移してきた。ところが、この図を見るとわかるように、1996 年 1 月以降はその数が増え 3 月から 6 月にかけては月に 70 個以上と 1995 年以前の約 10 倍に増加した。

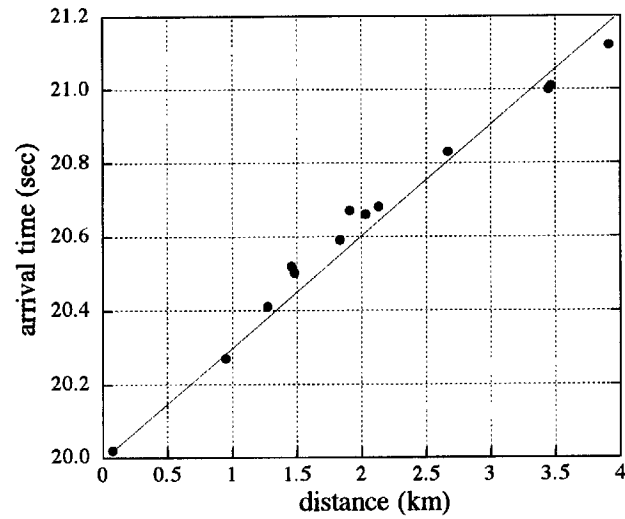


Fig. 6 Arrival time readings (dots) of the quarry blast observation on June 1, 1996. From this figure, homogeneous half space of $V_p = 3.3$ km/s (indicated by a line) is assumed for the hypocenter determination.

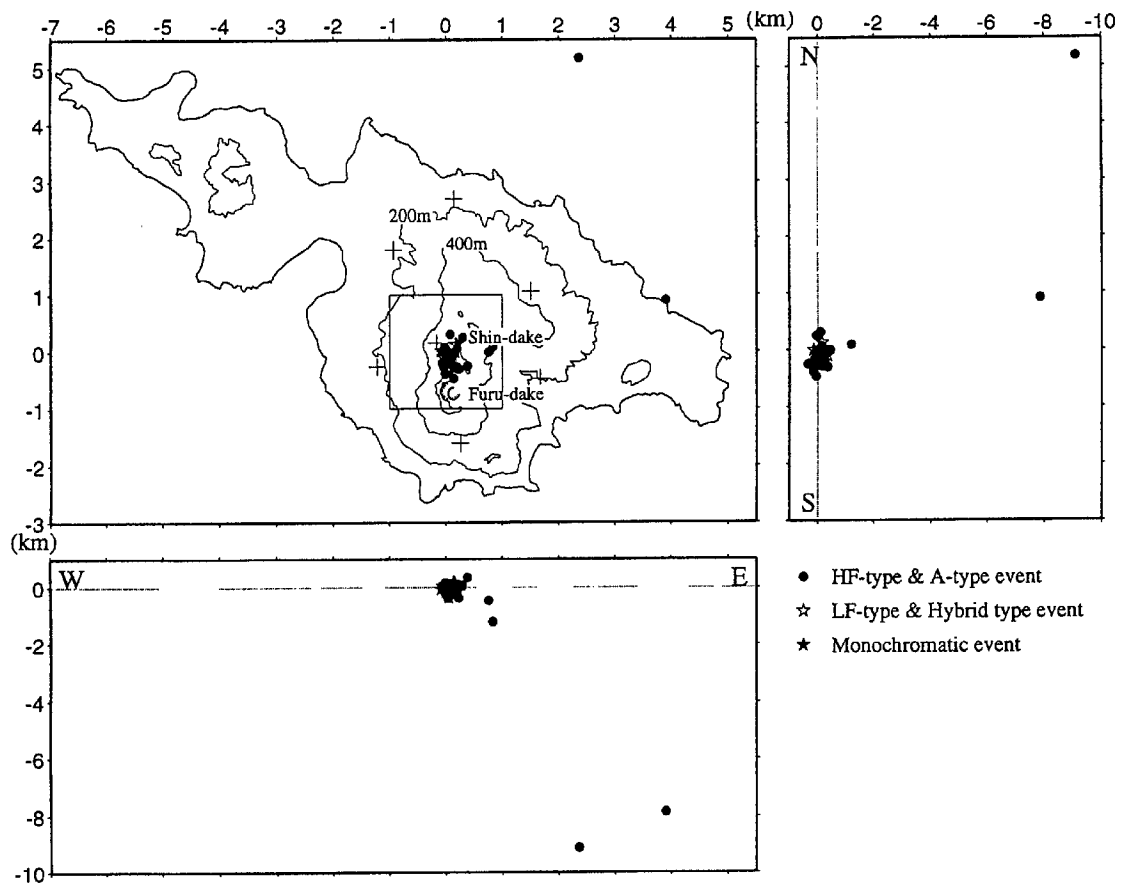


Fig. 7 Hypocentral distribution in Kuchierabujima volcano during the temporary seismic observation from May to June in 1996. Crosses denote locations of seismic stations used for the hypocenter determination.

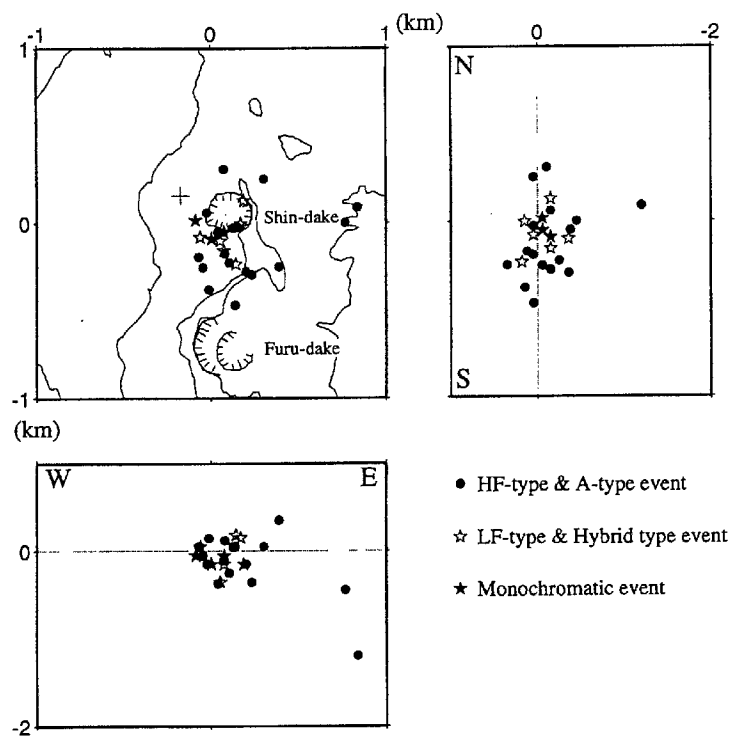


Fig. 8 Magnification of the summit area indicated as a large rectangle in Fig. 7.

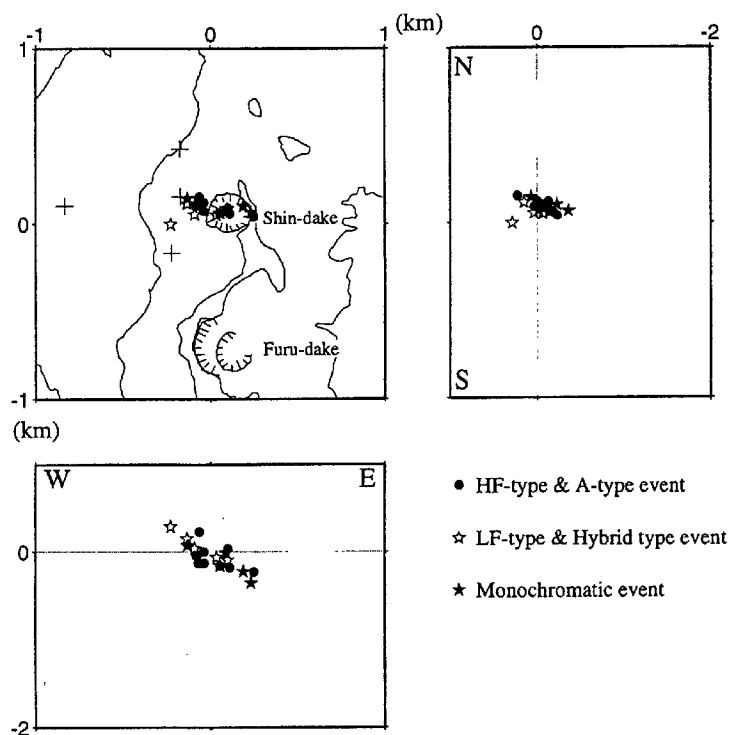


Fig. 9 Hypocentral distribution in Kuchierabujima volcano during the temporary seismic observation from May to June in 1996. Only the summit stations (crosses) are used for the hypocenter determination.

この地震活動の活発化をさらに詳細に調べるため、1995年5月から1997年3月の間に観測された火山性地震について、タイプ別にその上下動成分の最大振幅を時間推移としてプロットした (Fig. 5)。1995年12月以前では、ほとんどの火山性地震が HF 型地震である。ところが、1996年1月初めの比較的規模の大きい A 型地震および LF 型地震の発生を境に、低周波成分を多く含む地震 (LF 型, Hybrid 型) や Monochromatic 型地震が多数発生するようになった。また、HF 型および A 型地震も増加した。地震の規模についても、1996年1月を境に比較的規模の大きい地震が発生するようになった1996年10・11月は、以前の発生頻度に戻ったが、12月の規模の大きい A 型地震と LF 型地震の発生後、再び、発生頻度が増加した。

3. 臨時地震観測の概要

この地震活動の活発化に対応して、1996年5月14日から6月18日の期間に臨時の地震観測を行った。観測点の位置は Fig. 1 にプラス印で示した。この観測では、新岳西側の山腹に4点からなるアレイと新岳の周りを囲むように山麓部に6点の臨時観測点を展開した。これらの観測点に用いた地震計は固有周波数2Hzの上下動地震計である。また、観測点の位置はGPSにより測定した。

臨時観測システムは定常点分と併せて Fig. 2 にまとめてある。山腹に設置した4点は、定常観測点までケーブルを引き、定常観測点の同様の方法で桜島火山観測所まで伝送した。また、一部期間においては、それと同時にGPS観測室に設置したDATレコーダに連続記録した。また、山麓の6点については、GPSにより高精度の時刻較正が行われる白山工業社製のデータロガーLS8000-SH (森田・浜口, 1996) を用い、現地トリガー方式でデータを記録した。収録のサンプリングレートは定常観測点のデータに合わせ、100Hzとした。

4. 震源計算

4.1 山麓部6観測点を用いた震源決定

この臨時地震観測期間中に得られたもののうち、P-S時間が2秒以下の地震を解析の対象とした。山麓部の地震観測点4点以上で記録されたイベントは73個あった。うちわけは、A型地震5個、HF型地震45個、LF型地震 (Hybrid型を含む) 19個、Monochromatic型4個である。

震源計算にあたり地震波の速度構造が必要であるが、

口永良部島においては参考にできるような速度構造はまだ得られていない。そこで、島内で行われた採石発破を利用して速度構造を求めた。発震時をなるべく正確におさえるために、発破点から距離が約80mのところに地震計を設置し、ショットマークとした。採石発破は6月1日9:18に行われた。観測されたP波初動到着時刻を発破点から各観測点までの距離に対してプロットしたものを Fig. 6 に示す。震央距離2km以遠は伝播速度が増加する傾向が認められるが、4kmまでの平均的な伝播速度として3.3 km/s (図中の実線) が得られる。ここでは震源計算に使う速度構造として、3.3 km/s の半無限構造を用いることにした。

震源計算には、観測点の偏りをなくするため、山麓部6点 (KCW, KCS, KCE, KCN, MAE, TSR) および新岳西側山腹部1点 (SDE) の計7点におけるP波初動到着時刻を用いた。また、P波初動到着時刻のみから計算を行っているため、山頂付近の地震で震源の深さが決まらないものについては、計算された震央を固定して震源の深さを変えSDEとSDWの2観測点における理論上の走時差を計算し、それが観測値と合う深さをもってその地震の震源の深さとした。

P波初動が明瞭なもの28個 (A型2個、HF型17個、LF型およびHybrid型6個、Monochromatic型3個) について震源計算を行った結果を Fig. 7 に、またその山頂部分の拡大図を Fig. 8 に示す。HF型、LF型、Hybrid型およびMonochromatic型は、いずれもほぼ新岳の直下海拔0m付近に震源が集中している。また、A型地震は北東部の深さ8-10 kmに決められた。これらの震源に関しては、観測網の外側に位置し、実際の震源はもう少し島から離れたもう少し深いところである可能性がある。速度構造を含めて再検討する必要がある。

4.2 アレイ観測による震源決定

山麓部の観測点を用いた計算の時のデータセットと若干重ならないイベントも用いているが、臨時観測期間中の20個の地震 (HF型10個、LF型およびHybrid型6個、Monochromatic型4個) について、山腹点4点におけるP波初動到着時刻を読みとり、震源決定を行った。震源計算に用いる山頂付近の速度構造はやはり未知であるが、震央は新岳火口付近であることがすでにわかっているので、これを逆に用いて、震源計算を行った時の結果が新岳直下付近に決まるようなP波速度を求めた。結果は、2.0 km/s から2.2 km/s (半無限媒質を仮定) が適当であることが明らかとなった。 $V_p = 2.1$ km/s の半無限媒質を仮定したときの震源計算結果を Fig. 9 に示す。震源は、山麓点を用いた震源決

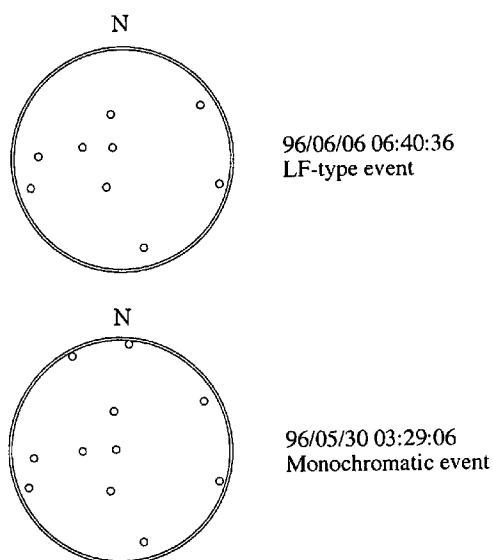


Fig. 10 The first motions projected on focal sphere (upper hemisphere) for LF-type and Monochromatic events. All senses show dilatation for these events.

定の時に比べてさらに新岳直下の狭い領域に集中した。

4.3 発震機構

LF型およびMonochromatic型地震について初動の押し引き分布を上半球震源球プロットしたものをFig. 10に示した。これらのイベントに関しては、すべての観測点で引きであり、少なくとも4象限型の震源メカニズムでは説明が不可能なようである。

5. 議論とまとめ

口永良部島火山における1991年12月からの連続観測および1996年5・6月の臨時多点観測により次のことが明らかになった。

- 1) 口永良部島火山に発生する火山性地震は、P波、S波の明瞭なA型、高周波成分の卓越するHF型、高周波成分と低周波成分の混在するHybrid型、低周波成分の卓越するLF型および単一の周波数にスペクトルのピークを持つMonochromatic型に分類される。
- 2) 比較的規模の大きい、A型地震とLF型地震の発生以後、HF型の発生頻度の増加とHybrid型、LF型およびMonochromatic型が発生する傾向が2度見られた。
- 3) A型地震は口永良部島北東部に、その他の種類の地震は、新岳の火口直下海拔0m付近に集中していることがわかった。震源計算に用いた $V_p = 3.3 \text{ km/s}$ の均質

構造は、砕石発破により求められた平均速度 3.3 km/s に基づいている。しかし、この発破による走時曲線でも2km以遠では速度が増加していることが認められ、また、口永良部島と屋久島の間でおきた地震のP波初動の見かけ速度は、島内では約 6 km/s になっており、 6 km/s 層の存在を考慮しなければならないことが示唆されている。一方、火口西山腹のアレイ観測では、 2.1 km/s の均質速度が最も適当であることがわかった。この速度は火口周辺浅部の速度を代表しているものと思われる。このように、この短期間の臨時観測だけでもいくつかのP波速度が見積もられており、今後の震源計算にあたっては、速度構造も含めて再検討する必要がある。

4) LF型およびMonochromatic型の初動は、全観測点において引きであり、4象限型の発震機構で説明するのは困難である。これらの地震は、体積収縮型のメカニズムを持っている可能性が高い。一方、今回の解析ではメカニズムまで決めることはできなかったが、HF型地震は、押し引きが混在しており、LF型およびMonochromatic型とは異なるメカニズムをもつ可能性がある。山麓6点を用いた震源決定では、HF型もLF型およびMonochromatic型も山頂直下に集中しており、その違いを見出すことはできなかったが、異なるメカニズムをもつ地震が同じ場所において発生しているとは考えにくく、火口周辺を近接して取り巻くようなより精密な震源決定を行えば、桜島においてみられるような震源位置と発震機構の対応関係(Iguchi, 1994)がみられるのかもしれない。この場合、前述したような詳細な速度構造が必要となろう。

謝 辞

常時観測点の設置については、加茂幸介京都大学名誉教授、鹿児島県消防防災課、陸上自衛隊国分駐屯地第12普通科連隊および西部方面航空隊、上屋久町総務課および口永良部島出張所、防災研究所古澤保教授、森井互助手、園田保美技官、市川信夫技官、理学部小野博尉助手、外輝明技官、当時留学生であったインドネシア火山調査所のオニー・スガンダ氏、火山活動研究センターの諸氏にご助力いただいた。臨時観測については鹿児島県消防防災課、上屋久町総務課にお世話になった。本観測は火山活動研究センター職員により維持されている。

参考文献

- 角田寿喜・前野昌徳・樽木孝利（1971）：口永良部島の地震と火山活動，鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学），No.4, pp. 43-52.
- 加茂幸介・江頭庸夫・西潔・石原和弘・高山鉄朗・中村貞美（1984）：口永良部島火山 1980 年 9 月の噴火活動，鹿児島県の地震と火山，第 13・15 合併号，pp. 37-43.
- 京都大学防災研究所（1992）：薩南諸島における火山活動（1991 年 1 月～1992 年 5 月），火山噴火予知連絡会会報，第 53 号，pp. 101-107.
- 京都大学防災研究所（1995）：薩南諸島における火山活動（1992 年 6 月～1995 年 5 月），火山噴火予知連絡会会報，第 62 号，pp. 62-64.
- 京都大学防災研究所（1996）：薩南諸島における火山活動（1995 年 5 月～1996 年 5 月）——口永良部島火山の地震活動の活発化——，火山噴火予知連絡会会報，第 65 号，pp. 123-127.
- 森田裕一・浜口博之（1996）：火山体構造探査のための高精度小型データロガーの開発，火山，第 41 巻，pp. 127-139.
- Iguchi, M. (1994): A vertical expansion source model for the mechanisms of earthquakes originated in the magma conduit of an andesitic volcano: Sakurajima, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 39, pp. 49-67.

Increase in Seismic Activity in 1996 at Kuchierabujima Volcano

Keigo YAMAMOTO, Masato IGUCHI, Tetsuro TAKAYAMA and Kazuhiro ISHIHARA

Synopsis

Volcanic earthquakes at Kuchierabujima volcano are classified into 5 types; A-type: tectonic-like earthquake with clear P- and S-phases, HF-type: dominated by high frequency, Hybrid-type: mixed with high and low components, LF-type: dominated by lower frequency, and Monochromatic event. Less than 10 per month HF-type events were observed before 1995. After occurrence of A-type earthquakes and LF events in early January 1996, the number of HF events suddenly increased and Hybrid and LF with lower frequency content and Monochromatic events frequently appeared. Temporary seismic observation was conducted in May and June 1996, installing 6 seismic stations around the summit crater and a small network with 4 seismometers on the western flank. Assuming $V_p = 3.3$ km/s estimated from artificial explosions, locations of the earthquakes were determined. Two A-type earthquakes were located northeast off the volcano and the other types were concentrated beneath the summit crater at depth of sea level. P-wave first motions of LF and Monochromatic event were dilatation at all the station. The mechanism of the events may not be double-couple.

Keywords: Kuchierabujima volcano; volcanic earthquake, hypocentral distribution, focal mechanism