

薩摩硫黄島の火山活動 ——1995年～1998年——

井口正人・石原和弘・高山鐵朗・為栗 健
篠原宏志*・斎藤英二**

*地質調査所資源エネルギー地質部

**地質調査所地質情報センター

要 旨

薩摩硫黄島は、島の東部にある硫黄岳の山頂火口において活発な噴気活動を続けている。京都大学、地質調査所、福岡管区気象台により行なわれている地震観測、GPS の繰り返し測定および火口内の地形、噴気の調査結果から、1995 年～1998 年の薩摩硫黄島の活動は次のようにまとめられる。(1)薩摩硫黄島においても桜島火山と類似した種類の火山性地震 A 型、B 型および C 型（モノクロマティック微動）が発生している。(2)1995 年から 1998 年の A 型地震の発生頻度には、顕著な変化はみられず、1975 年～1978 年における発生頻度と比較しても大きな変化はない。また、正断層型のメカニズムをもつ A 型地震が火口の西側に震源決定されたが、その震源位置は 1975 年～1978 年における発生位置と同様である。(3)1996 年 6 月 8 日に発生した $M=2.9$ の有感地震は、それ以外の A 型地震と比べて規模が大きい。硫黄岳山頂火口近傍の測量基準点は、1995 年 6 月から 1997 年 4 月の間に 6cm 北東に変位した。また、火口の南東側周辺に割れ目が形成された。この地震の発生は火口周辺の地盤変動および火口の南東における割れ目の形成と関連があるのかもしれない。(4)B 型地震は、山頂火口直下の浅い場所において発生している。その発生頻度は、1998 年 7～8 月には 1 日に 15 回程度であったが、10 月以降は、1 日 150 回程度に増加した。B 型地震は体積膨張型のメカニズムをもち、火山ガスの膨張と関連している可能性が高い。

キーワード：薩摩硫黄島、A 型地震、B 型地震、地盤変動、噴気活動

1. はじめに

薩摩硫黄島は、鹿児島県薩摩半島の南 45km にある活火山である。約 6300 年前に大噴火が発生した鬼界カルデラの北縁に位置する。1934～1935 年には同島の東海域において海底噴火が発生し、新島を形成した。島の東部にある硫黄岳の山頂火口内部およびその周辺において噴気活動が活発である。1988 年 1 月 18 日には 4 回にわたり噴煙が観測された（気象庁、1988）。

薩摩硫黄島においては、地球物理学的観測・調査が繰り返されてきた。1975 年から 1978 年にかけて、硫黄岳の山麓において火山性地震の連続観測が行われ、火山性地震活動の推移が把握されるとともに、火山性

地震の震源が硫黄岳西部の深さ 1km 付近に求められた（加茂、1976；1977；1978）。地質調査所は、1990 年以降、硫黄岳周辺の火口の地形観測、火山ガス分析、噴気温度測定などの調査を繰り返してきた（地質調査所、1997）。また、火山性微動の停止期に発生する長周期パルスを見出し、火道内のマグマの対流と火山ガスの放出に関連しているものと推定した（Ohminato and Ereditato, 1997）。また、福岡管区気象台は、1985 年、1992 年に機動観測を実施した（福岡管区気象台、1986；1993）。

京都大学桜島火山観測所は、1988 年 2 月から 1 台の地震計による火山性地震の連続観測を開始した（Iguchi, 1991）。途中、事故による観測の中断があっ

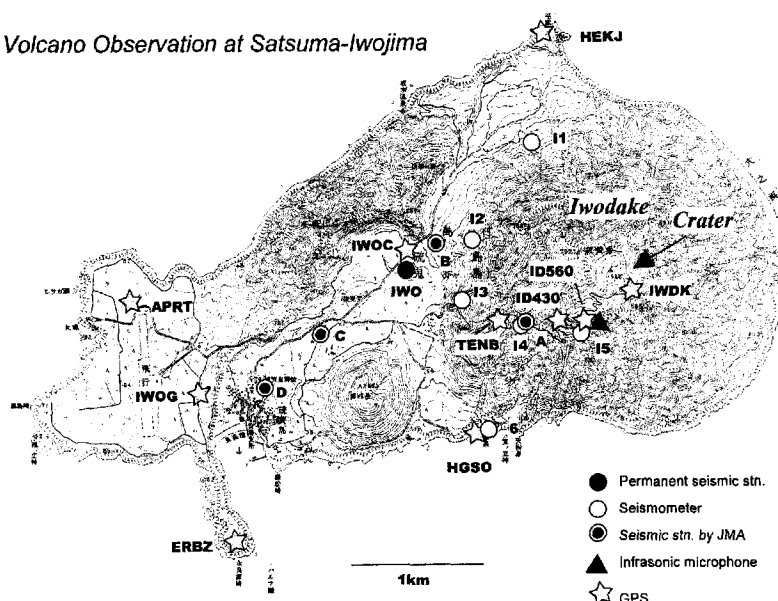


Fig. 1 Volcano observation network at Satsuma-Iwojima. IWO is a permanent stations installed by Sakurajima Volcano Research Center since June 1995. Stations A-D were installed by Fukuoka Meteorological Observatory. Stations I1-I6 were installed temporarily during the period from July 26 to 30, 1998. The station IWOG is a permanent GPS station installed since August 1994.

たが、1995 年 6 月から観測を再開し、現在に至っている。また、福岡管区気象台も、1997 年 9 月から火山性地震の連続監視を行っている。1998 年 4 月以降、しばしば、薩摩硫黄島島内および東 14km にある竹島において降灰が観測されている。本稿では、桜島火山観測所及び福岡管区気象台による火山性地震の連続観測データ及び、地質調査所との GPS の共同観測結果をもとに、薩摩硫黄島の 1995 年以降の火山活動の評価を行うとともに、1998 年 7 月に行った火山性地震の臨時多点観測の結果をもとに、同火山において発生する火山性地震の発生機構について考察する。

2. 観測

Fig. 1 に観測点の配置を示す。桜島火山観測所は 1995 年 6 月に硫黄岳の西 1.5km の地点 (IWO) に固有周期 1s の 3 成分地震計を設置し、観測を継続してきた。この地震計からの信号は無線搬送された後、パーソナルコンピュータによりトリガー方式で記録され、桜島火山観測所まで公衆電話回線を用いて伝送される (Iguchi, 1991)。また、福岡管区気象台は、1997 年 9 月から硫黄岳の西部 0.5km~2.5km の 4 点 (A~D) に地震計を設置している。地震計の固有周期はいずれも 1s である。地震波形信号は硫黄島小中学校まで無線搬送された後、専用回線により福岡管区気象台まで伝送される。また、この信号は硫黄島小中学校において、

桜島火山観測所のパーソナルコンピュータに分岐されている。

火山性地震の震源決定を目的として 1998 年 7 月 26 日から 30 日にかけて、硫黄岳の北~西~南山麓における 6 観測点 (I1~I6) において臨時地震観測を行った。観測点 I4 には、STS-2 型広帯域地震計を設置した。その他の観測点には固有周期 1s の 3 成分地震計 (L-4C-3D) を設置した。データは、すべて GPS 刻時校正装置付きデータロガーに、サンプリング周波数 100Hz、分解能 16bit (I4 では 24bit) でデジタル収録した。

薩摩硫黄島では 1994 年 8 月から恒久的な GPS 観測点 (IWOG) を設置して連続観測を続けているが (Kamo et al., 1997)、同島および鬼界カルデラの地盤変動を GPS により検出することを目的として 1995 年 6 月に薩摩硫黄島島内の 7 点および竹島に測量基準点を新たに設置した。更に、1997 年 4 月には地質調査所により硫黄岳の山頂火口周辺に 6 点が増設された。観測は、1995 年 6 月から 1997 年 4 月、7 月、11 月、1998 年 3 月、7 月と計 6 回実施した。使用した受信機は Leica SR299E および SR399 であり、15 秒サンプリングで収録した。観測時間は 30 分から 3 時間である。連続観測点 IWOG の WGS84 系座標を北緯 $30^{\circ} 47' 3.12693''$ 、東経 $130^{\circ} 16' 30.19644''$ 、標高 152.9897m として SKI (Ver. 2.1 以降) を用いて基線解析を行った。

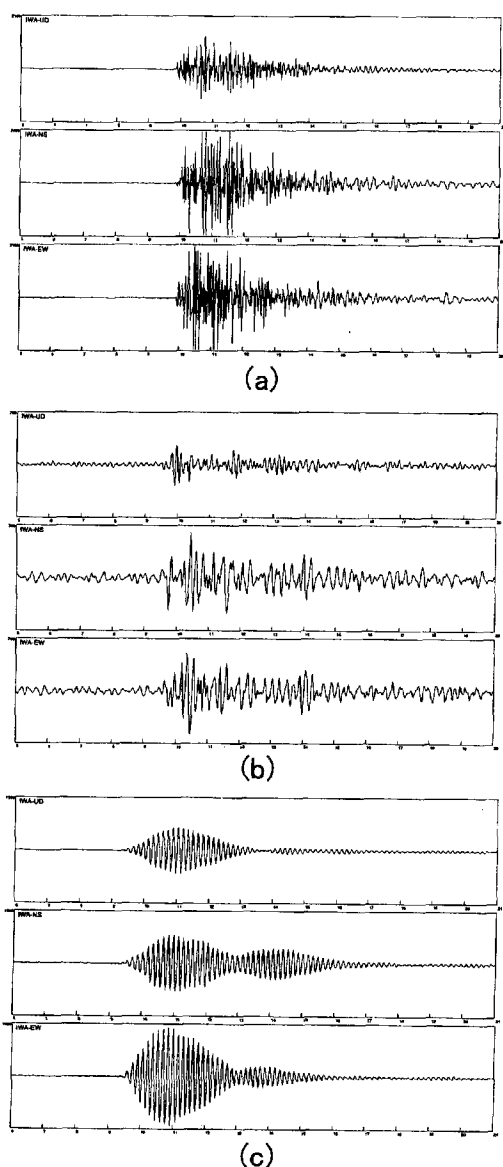


Fig.2 Examples of typical waveforms of volcanic earthquakes observed at Satsuma-Iwojima. (a) A-type earthquakes at 10:18 on January 17, 1999, (b) B-type earthquake at 23:35 on July 27, 1998 and (c) C-type tremor at 18:24 on July 10, 1998.

3. 火山活動の推移

3.1 火山性地震

硫黄岳の火口から 0.5km の距離にある A 点において観測された典型的な火山性地震の波形の例およびそのスペクトルを Fig.2, Fig.3 に示す。桜島および諏訪之瀬島の例にならい、A 型地震、B 型地震、C 型微動の 3 種類に分類した。A 型地震は 6~10Hz の高周波成分に富む。S-P 時間は 1s 以下である。B 型地震は 1~6Hz 程度の低周波成分が卓越する。この例では 5~

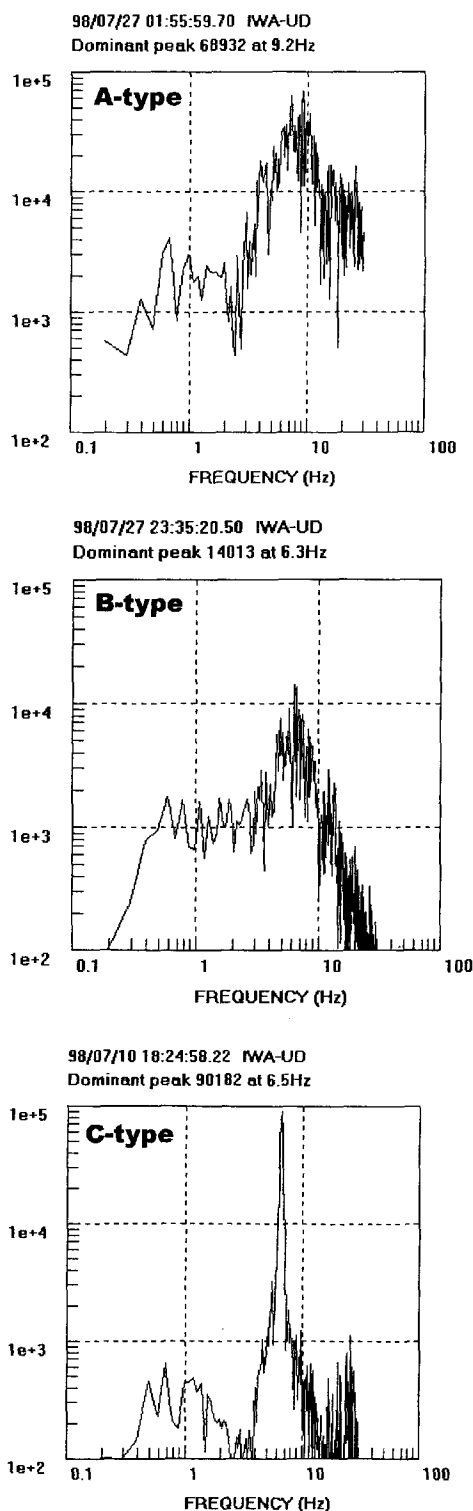


Fig.3 Velocity spectra of volcanic earthquakes. Spectra were calculated from the waveforms of 10.24 s from the onset of the events.

6Hz の振動が卓越している。C 型微動は、モニトニックな振動が 10~20 秒程度継続する。Fig.3 に示すように、そのスペクトルは 6.5Hz 付近に鋭いピークをもつ。

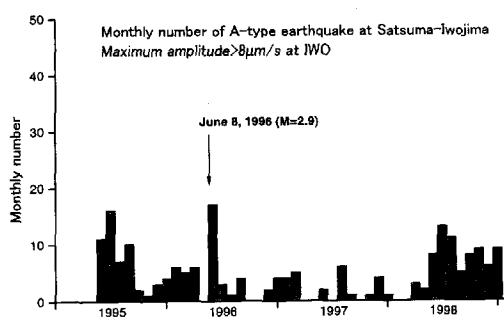


Fig. 4 Monthly number of volcanic A-type earthquakes at the station IWO. Earthquakes with amplitude $>8 \mu\text{m/s}$ were counted.

波形のエンベロープは、Fig.2 に示すように紡錘形であるものと浅間山などにおいて発生する T 型地震（浜田・他、1976）のようにコーダ部分がゆっくりと減衰するものとが認められる。

まず、観測期間の最も長い IWO における記録をもとに火山性地震の活動の推移をみる。この観測点では、トリガー記録方式であるため比較的規模の大きい A 型地震しか記録されていない。最大振幅が $8 \mu\text{m/s}$ 以上の A 型地震の月別発生回数を Fig. 4 に示す。パソコンによる収録の動作不良により、発生回数が少ない月もあるが、平均 1 ヶ月に 10 個前後の地震が観測されてきた。1995 年以降、1996 年 6 月 8 日の地震を除けば、A 型地震の発生頻度は安定しているように見える。

1996 年 6 月 8 日 21 時 06 分に発生した地震は、薩摩硫黄島において有感であり、マグニチュードは 2.9 と、通常、観測されている地震 ($M < 1$) に比べて大きい。桜島火山観測所の南九州に分布する常設観測点と IWO 観測点を用いた震源決定では、その震源位置は薩摩硫黄島周辺に求められた。IWO における S-P 時間が 0.5s と極めて短いこと、初動の振動方向から地震波は、東から到来しているように見えることから、震源は硫黄岳付近である可能性が高い。

B 型地震、C 型微動は振幅が小さいため、観測点 IWO では、これまでのところ観測されていない。観測期間は短くなるが 1998 年 6 月以降の A 点におけるこれらのタイプの地震の日別発生回数を Fig.5 に示す。A 型地震の発生回数は平均 2 回程度であり、多くとも 1 日に 7 回程度である。また、C 型微動は日平均 0.4 回程度である。A 型地震、C 型微動の発生回数に大きな変化は見られない。一方、B 型地震は 6 月から 8 月にかけて 1 日 50 回から 15 回程度へと減少傾向であったが、

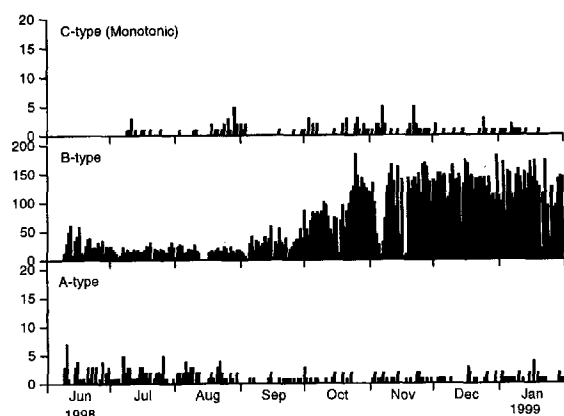


Fig. 5 Daily number of volcanic earthquakes at station A during the period from June 1998 to January 1999.

9 月からは逆に増加に転じ、10 月後半以降は 1 日に 100 ~ 150 回程度の発生回数で推移している。1998 年 7 月の最も発生頻度の低いときと、1998 年 10 月以降では、発生頻度が約 10 倍変化したことになる。

3.2 山頂火口内の変化

地質調査所によって、1990 年以降、硫黄岳の山頂火口内及びその周辺における地形の変化および噴気の温度・状態の変化が詳細にまとめられている（地質調査所、1997；地質調査所・火山活動研究センター、1997；1998）。1990 年頃は硫黄岳山頂火口内の縁部に近い火口斜面に高温噴気が分布していたが、1994 年以降は、火口縁部よりも中心部の火口底における噴気活動が活発化した。1996 年 10 月には火口底にジェット音が放出されている新火孔が形成されているのが目視された。火口底の火孔は、その後も拡大傾向を続け、1998 年 7 月の観測時には火口底部の火孔は、30m 程度に拡大し、火山ガスと火山灰が間欠的に放出されているのが確認された。

また、1996 年 10 月には山頂火口外側の南東部の道路上に北東—南西方向（走向は $N60 \sim 90^\circ E$ ）の開口性割れ目が確認されている（地質調査所、1997；地質調査所・火山活動研究センター、1997；1998）。この割れ目から火山ガスが放出されている。この割れ目は、1997 年 11 月の観測時まで拡大傾向を続けている。また、この割れ目には、北落ち（火口側が落ち）の段差があり、1996 年 10 月には 10cm 以下であったが、1997 年 1 月には 20cm、2 月には 30cm に拡大した。

3.3 地盤変動

Fig.6 に、GPS により測定された薩摩硫黄島島内における測量基準点間の斜距離の変化を示す。いずれも

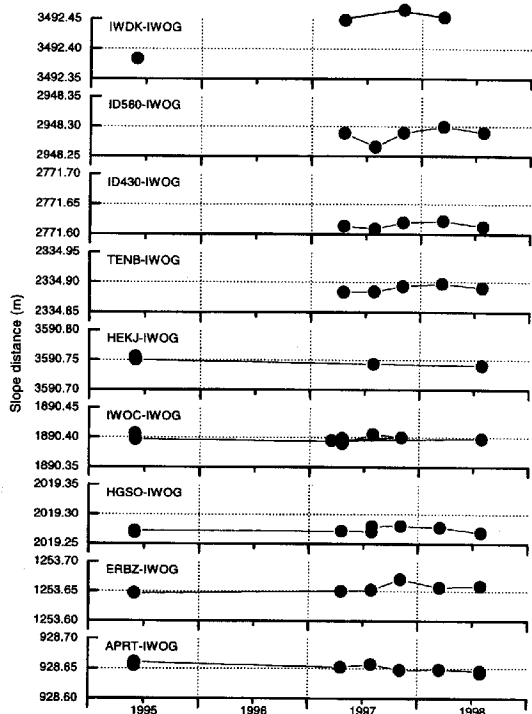


Fig. 6 Changes in slope distance

IWOG からの距離の変化を示した。最も変化が大きいのは、硫黄岳山頂火口の南東縁にある IWOK であり、1995 年 6 月から 1997 年 4 月の間に、斜距離が 6.5cm 伸びた。IWOG に相対的に IWOK は東北東に 6cm 変位した。その後は、顕著な変化は見られない。IWOK 以外の山頂火口周辺のベンチマークは 1997 年 4 月に設置されたが、その変化は 1~2cm 程度であり、顕著な変化は見られなかった。一方、硫黄岳から離れた観測点では、1995 年 6 月から 1998 年 7 月にかけて APRT-IWOG, HEKJ-IWOG は一様な収縮傾向、ERBZ-IWOG では伸張傾向がみられるが、その変化量は 3 年間に 2cm と小さい。これまでの観測で検出された薩摩硫黄島の顕著な地盤変動は 1995 年 6 月から 1997 年 4 月の間の硫黄岳山頂火口周辺に限られる。

4. 火山性地震の発震機構

4.1 震源位置

IWO および A~D 点のみでは、初動の立ち上がり不明瞭であるため、震源決定を目的とした臨時地震観測を 1998 年 7 月 26 日から 30 日に行った。観測点の位置を Fig.1 の I1~I6 に示した。P 波速度 2.0km/s の半無限均質構造を仮定し、4~6 点の P 波初動の着震時から震源位置を求めた。観測期間中、1 個の A 型地震 (1998 年 7 月 27 日 01:55) と 30 個の B 型地震が、4 点以上において観測されたが、震源決定できたのは、

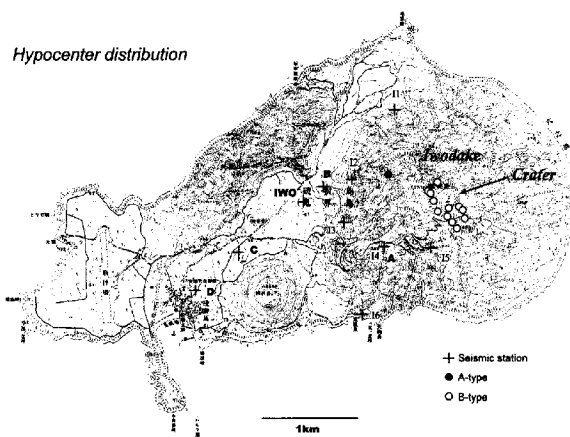


Fig. 7 Epicenter distribution of a A-type and B-type earthquakes. Solid and open circles represent A-type and B-type earthquakes, respectively.

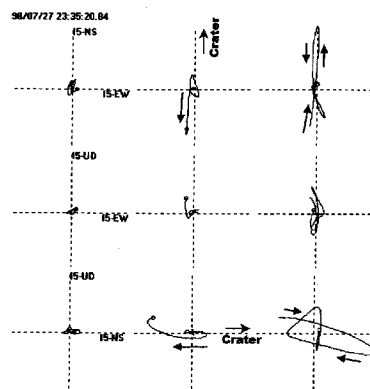
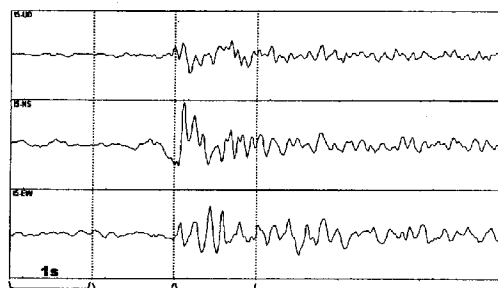


Fig. 8 Particle motion diagrams. The upper 3 traces represent seismic waveforms of vertical, horizontal in the N-S direction and E-W components at the station I5. Particle motions are projected in the boxes beneath the seismic waveform.

A 型地震 1 個と B 型地震 12 個であった。

震央分布を Fig. 7 に示す。A 型地震は硫黄岳の火口の中心から北西に 0.7km 離れた地点の深さ海面下 1km に震源決定された。B 型地震の震源は、硫黄岳の火口付近に求まった。B 型地震の震央分布のばらつきは、

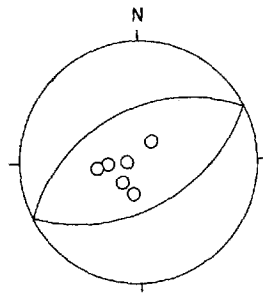


Fig. 9 A solution of focal mechanism of A-type earthquake at 01:55 on July 27, 1998. Polarities of p-wave first motions are plotted on upper hemisphere of the focal sphere with equal area projection. Open circles denote dilatation of P-wave first motions.

初動の立ちあがり是非常に緩やかであること、ノイズレベルが大きいことなど、初動の読み取り精度によるものと思われる。深さは 0~4km に求まったが、決定精度はよくない。Fig.8 に火口の南に位置する I5 観測点における 3 成分の記録とその初動付近の振動軌跡を示す。南北成分が radial 成分、東西成分が tangential 成分に対応する。波形記録では、初動は南北成分から始まっているように見える。初動は、火口方向からほぼ水平に動いているようにみえる。このことから B 型地震の震源は極めて浅いと思われる。臨時観測期間中、C 型微動は発生しなかったが、振幅の減衰の様子から硫黄岳火口周辺と推定される。

4.2 発震機構

次に、A 型地震および B 型地震の発震機構を求めてみた。1998 年 7 月 27 日 01:55 に発生した A 型地震の初動の押し引き分布を震源球の上半球に等積投影した (Fig.9)。初動が読み取れた全観測点において初動は引きであった。メカニズム解を一意的に求めることはできないが、4 象限型の押し引き分布を仮定すれば、正断層型の解が得られる。

B 型地震については、Fig.8 に示したように、水平動の方が上下動よりも早く動き始めるものが多い。初動はすべての観測点で push で観測される。B 型地震は周期 1s 程度の低周波成分が卓越しているの、試みに、I1, I2, I3, I5 の 4 観測点における 3 成分の波形記録を用いてインバージョン法により、震源のメカニズムを求めてみた。波形インバージョンには、Kikuchi and Kanamori (1991)の方法を用い、震源時間関数には三角波を仮定し、時間幅を変化させることにより最適解を求めた。用いた速度構造は震源決定と同じである。結果を Fig.10 に示す。理論波形の観測波形へ

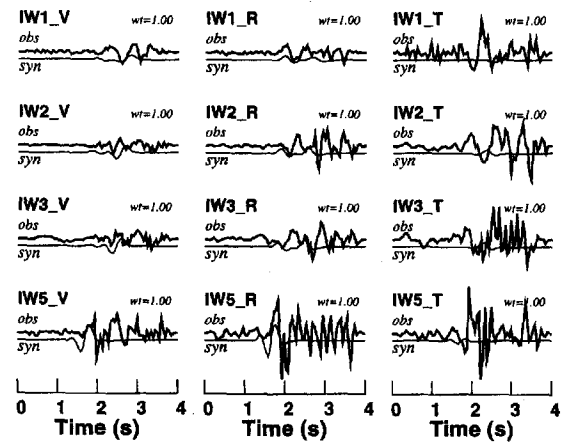


Fig. 10 Comparison of synthetic seismogram with observed waveforms of B-type earthquake at 23:35 on July 27, 1998. Synthetics were obtained by waveform inversion.

の一致は初動付近を除くとよくないが、ダイポール成分 ($M_{xx}; M_{yy}; M_{zz}$) が $(2.4 : 2.6 : 3.4) \times 10^{10}$ Nm, また、ダブルカップル成分は、($M_{xy}; M_{yz}; M_{zx}$) は、 $(-0.4 : -0.2 : -0.7) \times 10^{10}$ Nm となった。ダイポール成分はダブルカップル成分に比べて約 1 桁大きく、P 波初動分布から予想されるような体積膨張型のメカニズム解が得られた。

5. 議論

5.1 1975~1977 年における活動レベルとの比較

1995 年 6 月以降、最大振幅 $8\mu\text{m/s}$ 以上の A 型地震は、1 ヶ月に 10~20 個発生している。これを 1975 年 6 月から 1978 年 1 月の地震活動 (加茂, 1976; 1977; 1978) と比較してみる。この期間では、最大振幅 $10\mu\text{m/s}$ 以上で S-P 時間が 2 秒以下の A 型地震は多いときは 1 ヶ月に 80 個程度発生しているが、平均すると 10~30 個である。1975 年~1978 年における観測において発生数の計測を行った観測点は、本研究における観測点 IWO よりも硫黄岳に近いので、震源距離による減衰の補正を試みる。

1998 年 7 月の臨時観測期間中 1 個ではあるが、A 型地震が硫黄岳の西側に震源決定された。加茂(1977)によれば、A 型地震は、ほとんど硫黄岳の西側に震源の位置が決まっており、東側に決められたものはほとんどない。今回の結果は、これまでの結果と一致しているといえる。震源位置の精度は、従来のものは 3 点観測網により決められており、今回の震源決定精度の

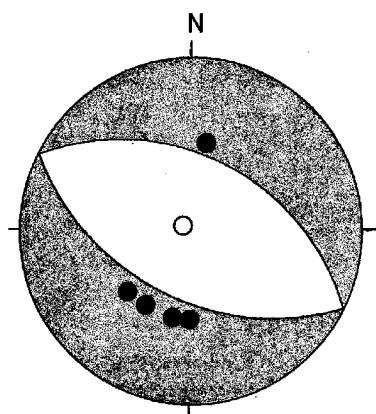


Fig. 11 Monthly number of volcanic A-type earthquakes at the station IWO. The numbers during the period from 1975 to 1978 are corrected, considering attenuation of seismic waveform due to geometric spreading.

方がよいと思われるので、この震源位置を仮定し、震源距離による減衰を考慮して、観測点 IWO に相当する地点での最大振幅 $8\mu\text{m/s}$ 以上の A 型地震回数を推定してみた。

Fig.11 に 1975 年 6 月から 1978 年 1 月において観測点 IWO に相当する地点での最大振幅が $8\mu\text{m/s}$ 以上に達したと思われる地震の推定回数を示す。1975 年は、1 ヶ月に 20~40 個の地震が発生しているが、1976 年~1977 年は 10~20 個/月である。1995 年以降硫黄岳において発生している A 型地震の発生頻度は、20 年前と比較して大きな変化はない。

5.2 1996 年 6 月 8 日の地震

1996 年 6 月 8 日の地震は、マグニチュードが 2.9 と、通常発生している A 型地震よりも大きく、島内では有感であった。この地震は、薩摩硫黄島島内だけでなく、南九州にあるいくつかの観測点において観測されている。その P 波初動の押し引き分布から発震機構を求めてみた。P 波初動の押し引きを震源球の下半球に等積投影したものを Fig.12 に示す。初動の押し引き分布からは、正断層型のメカニズム解が得られた。硫黄岳の山頂火口の南東側に亀裂が存在しているのが、1996 年 10 月に確認されている（地質調査所、1997）。山頂部における GPS 観測からは、この亀裂から 100m 程度しか離れていない測量基準点 IWDK は、1995 年 6 月から 1997 年 4 月の間に、東に約 6cm 変位したことが観測されているが、他の基準点には有意な変動が見られないことから IWDK の移動は、亀裂の形成によって引き起こされた可能性が高い。1995 年 6 月以降、1996 年 10 月までに発生した A 型地震のマグニチュードは 1996 年 6 月 8 日の地震を除けば、1 以下で

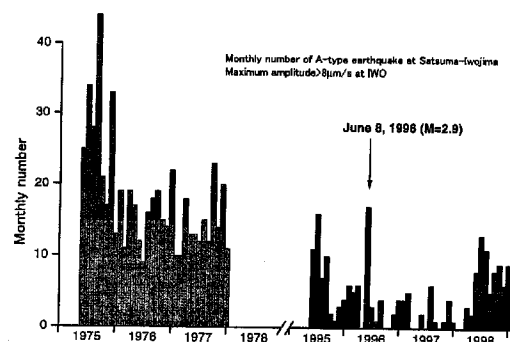


Fig. 12 Focal mechanism of A-type earthquakes at 21:06 on June 8, 1996. Push-pull of P-wave first motions was plotted on lower hemisphere of the focal sphere with equal area projection. Solid and open circles denote compression and dilatation of P-wave first motions, respectively.

あり、いずれも、微小である。地震発生の時期を考慮するとこの地震の発生が火口南東の割れ目の形成に関連している可能性がある。割れ目が火口側落ちの段差を持つことは、この地震が正断層型のメカニズムであることを反映しているのかも知れない。

5.3 B 型地震の発震機構

薩摩硫黄島において発生する B 型地震に波形インバージョン法を適用してメカニズムを求めたところ、体積膨張型の解が得られた。ダイポール成分の大きさの比については、検討を要するが、初動が全観測点において押しで観測されていることから、体積膨張型の震源メカニズムであることは、間違いなさそうである。

B 型地震は体積膨張型のメカニズムをもつことから、同じく薩摩硫黄島において微動の停止期に発生する周期 15 秒の長周期パルス（Ohminato and Ereditato, 1997）に類似している。しかし、スペクトルには大きな違いが見られる。周期 15s の長周期パルスは広帯域地震計のみで検出することができ、固有周期 1s の地震計では常時微動を超えるような信号をみいだすのが困難である。一方、B 型地震では、スペクトルのピークは 1s 付近にあり、固有周期 1 秒の地震計でも常時微動の振幅レベル以上の信号を検出できるが、周期 15 秒の振動は同時に設置した広帯域地震計でも見出すことはできなかった。

桜島の B 型地震は鉛直方向のダイポール成分が卓越する体積膨張型のメカニズムをもつ（Iguchi, 1994）。薩摩硫黄島の B 型地震は桜島の B 型地震にそのメカニズムも類似しているようである。硫黄岳の火口からは、火山灰混じりの火山ガスが放出されており、桜島

の B 型地震から類推するとガス溜りの膨張により発生するのかもしれない。

1998 年 7 月 26 日から 30 日の観測期間中、硫黄岳の火口から 250m 離れた地点において空気振動の連続観測を行った。桜島では、BL 型地震の発生は 10Pa 以下の微弱な空気振動の発生と対応しているが（井口・石原, 1990）、薩摩硫黄島の B 型地震の発生時には、大気圧の常時振動レベルを超えて、B 型地震に対応するような顕著な空気振動は観測されなかった。1998 年 7 月の観測時には、約 3 分の時間間隔で、火山ガス・火山灰が間欠的に放出されていたが、目視により確認できる火山ガスの放出と B 型地震の発生にも対応関係は見られなかった。空気振動が観測されなかったのは、火山ガスの火口からの放出速度が小さいためかもしれない。また、B 型地震の最大振幅は、火口から 0.5km の距離にある I5 観測点において $3\mu\text{m/s}$ 、距離 1km の I2 観測点では $1\mu\text{m/s}$ である。桜島の B 型地震は、震央距離 2.8km において振幅が $10\sim 60\mu\text{m/s}$ である（井口・石原, 1990）。この距離では薩摩硫黄島の B 型地震は $0.2\sim 0.3\mu\text{m/s}$ に減衰すると推定され、桜島の B 型地震に比べて 2 桁小さい。薩摩硫黄島において発生する B 型地震が、ガスの膨張により発生するとしてもそのガスの膨張による空気振動は極めて小さいと思われる。桜島の B 型地震は、顕著な噴煙の放出、あるいは活動的な時はストロンボリ式噴火に類似した噴石の放出を伴い、より explosive であるのに対し、薩摩硫黄島の B 型地震は火道内で火山ガスの体積膨張は起こるが、その外部への流出は小さく、その結果、B 型地震の発生と火口外へのガスの放出とが 1 対 1 に対応するものではないのかもしれない。B 型地震の発生回数は変化が大きく、1998 年 6 月から 8 月までは、日別の発生頻度は、20 回以下であったが、9 月から徐々に増加し、10 月以降の日別発生頻度は $100\sim 150$ 回となった。B 型地震の発生が火山ガスの膨張と関連しているとすれば、長期的時間変化で見た火山ガス放出量になんらかの変化があるはずであり、そのためには火山ガス放出量を連続的に観測する必要がある。

臨時観測期間中、A 型地震は硫黄岳の西側に震源決定された。また、B 型地震は硫黄岳火口の直下に震源位置が求まった。桜島火山においては、B 型地震（BH、BL とも）は火口直下において発生し、A 型地震は、その周辺において発生しており、B 型地震は流体に満たされた火道内のガスの膨張により、また、A 型地震は火道周辺の岩石のせん断破壊によって発生すると解釈されている（Iguchi, 1994）。薩摩硫黄島においても、B 型地震は火口直下において発生し、A 型地震は、火口からやや離れた場所において発生していること、また、B 型地震のメカニズムが類似していることは、硫

黄岳にも、桜島南岳と同様に、流体に満たされた火道が存在することを示唆する。

6. まとめ

1995 年から 1998 年の薩摩硫黄島の活動をまとめると次のようになる。

- (1) 薩摩硫黄島においても桜島と類似した種類の火山性地震 A 型、B 型および C 型（モノクロマティック微動）が発生している。
- (2) 1995 年から 1998 年の A 型地震の発生頻度には、顕著な変化はみられず、1975 年～1978 年における発生頻度と比較しても大きな変化はない。
- (3) B 型地震は、1998 年 10 月以降発生頻度が増加した。
- (4) 1996 年 6 月 8 日に発生した $M=2.9$ の有感地震は、硫黄岳山頂火口周辺の地盤変動および火口の南東における割れ目の形成と関連があるのかもしれない。
- (5) 正断層型のメカニズムをもつ A 型地震が火口の西側に震源決定されたが、その震源位置は 1975 年～1978 年における発生位置と同様である。
- (6) B 型地震は、山頂火口直下の浅い場所において発生しており、体積膨張型のメカニズムをもつ。火山ガスの膨張と関連している可能性が高い。

謝 辞

硫黄岳周辺の観測については南島オパール長浜所長、徳田和良氏に入山の許可と観測のご協力を頂きました。三島村役場総務課には観測全般についてお世話になりました。福岡管区気象台からは薩摩硫黄島に設置した地震計の信号を分岐し、データを使用することを了解頂きました。インドネシア火山調査所 Asep Wildan, Iing Kusnadi 両氏には臨時観測にご協力頂きました。以上、あわせてお礼申し上げます。

参考文献

- 井口正人・石原和弘（1990）：爆発的噴火に伴う地震動・空気振動の比較研究—桜島火山と諏訪之瀬島火山の比較—, 京都大学防災研究所年報, 33B-1, pp.1-12
- 加茂幸介（1976）：地震観測。火山発電方式に関するフィジビリティスタディ（サンシャイン計画委託調査研究成果報告書）, pp.38-59。
- 加茂幸介（1977）：地震計の設置。火山発電方式に関するフィジビリティスタディ（サンシャイン計画委託調査研究成果報告書）, pp.25-39。

- 加茂幸介 (1978): 地震計の設置. 火山発電方式に関するフィジビリティスタディ (サンシャイン計画委託調査研究成果報告書), pp.17-31.
- 気象庁(1988): 1988年1月地震火山概況, p10.
- 地質調査所(1997): 薩摩硫黄島火山の硫黄岳の活動状況, 火山噴火予知連絡会会報, 67, pp.79-82.
- 地質調査所・火山活動研究センター(1997): 1997年4月までの薩摩硫黄島火山の硫黄岳の活動状況, 火山噴火予知連絡会会報, 68, pp.97-99.
- 地質調査所・火山活動研究センター(1998): 1997年11月までの薩摩硫黄島火山の硫黄岳の活動状況, 火山噴火予知連絡会会報, 70, pp.59-60.
- 浜田信生・神宮博・生本光二(1976): 減衰の遅い終期微動を伴う火山性地震について, 火山, 21, pp.167-183.
- 福岡管区気象台(1986): 薩摩硫黄島火山, 九州地域火山機動観測実施報告, 6, pp.1-21.
- 福岡管区気象台(1993): 鶴見岳・薩摩硫黄島, 九州地域火山機動観測実施報告, 13, pp.41-59.
- Iguchi, M. (1991): Geophysical data collection using an interactive personal computer system (part 1) - Experimental monitoring at Suwanosejima Volcano-, Bull. Volcanol. Soc. Jpn., 36, 335-343.
- Iguchi, M. (1994): Vertical expansion source model for the mechanisms of earthquakes originated in the magma conduit of an andesitic volcano: Sakurajima, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Jpn., 39, 49-67.
- Kamo, K., Iguchi, M and Ishihara, K. (1997): Inflation of volcano Sakurajima detected by automated monitoring system of GPS network, Proc. Int. Symp. Current crustal movement and hazard reduction, Wuhan RP. China, 1997, pp.629-640.
- Kikuchi, M. and Kanamori, H. (1991): Inversion of complex body waves-III, Bull. Seis. Soc. Am., 81, pp.2335-2350.
- Ohminato, T. and Ereditato D. (1997): Broadband seismic observations at Satsuma-Iwojima volcano, Japan. Geophys. Res. Lett., 24, pp.2845-2848.

Volcanic activity at Satsuma-Iwojima during 1995-1998

Masato IGUCHI, Kazuhiro ISHIHARA, Tetsuro TAKAYAMA,
Takeshi TAMEKURI, Hiroshi SHINOHARA* and Eiji SAITO**

* Mineral and Fuel Resources Department, Geological Survey of Japan

** Geological Information Center, Geological Survey of Japan

Synopsis

Fumarolic activity has continued at the summit crater of Satsuma-Iwojima volcano located south off Kyushu, Japan. Sakurajima Volcanological Observatory (SVO), DPRI, Kyoto University has conducted seismic observation at a permanent station 1.5 km west of the summit crater since June 1995. Fukuoka Meteorological Observatory installed 4 stations at the volcano since September 1997. Geological Survey of Japan has repeated visual, geochemical, topographical survey at the crater. SVO and GSJ have cooperated in GPS measurement since June 1995. Volcanic activity of Satsuma-Iwojima is summarized as follows; (1) Volcanic earthquakes are classified into A-type (high frequency), B-type (low frequency) and C-type (monochromatic tremor). (2) A-type earthquakes occurred at the west of the summit crater at a depth of 1km. The focal mechanism of the A-type earthquakes is normal fault type. (3) B-type earthquakes are located at very shallow depth beneath the summit crater. B-type earthquakes are generated by expansive volumetric source, maybe expansion of gas pocket. (4) The seismicity of A-type earthquakes during 1995-1998 is the same as that in 1975-1978, except the earthquakes at 21:06 on June 8, 1996. (5) A crack with length of 100m was formed southeast of the summit crater before October 1996. The benchmark near the crack moved eastward by 6 cm

during the period from June 1995 to April 1997. The earthquakes on June 8, 1996 may be related with topographic change and ground deformation around the crater.

Keywords : Satsuma-Iwojima, A-type earthquake, B-type earthquake, ground deformation, fumarolic activity