

桜島火山における火山性地震観測の強化

京都大学防災研究所

為栗 健・井口 正人

山崎 友也・高山 鐵朗

1. はじめに

桜島火山で発生する火山性地震については多くの研究がなされており、これまでの集中総合観測でも震源分布や波動特性などの報告がある(例えば、清水・他, 1982¹⁾: 加茂・他, 1988²⁾: 加茂・他, 1989³⁾)。最近では、A型地震(火山構造成地震)の震源分布や震源メカニズムについて Hidayati et al. (2007)⁴⁾ によって報告されている。A型地震の多くは山頂直下の深さ0~4 km 付近と南西の沖小島付近の深さ6~10 km で発生している^{4), 5)}。また、BL型地震や爆発地震など噴火を伴う地震は山頂直下の浅部(0~2 km)で発生している^{6), 7)}。

南岳山頂火口は1955年の爆発的噴火の開始後、現在まで噴火活動を続けているが、2000年以降は山頂噴火活動が低減傾向にあった。そのような活動の中、2006年6月に山頂火口の東側斜面にある昭和火口において58年ぶりに噴火が発生し、2007年5~6月、2008年2月にも再び噴火が発生した。京都大学防災研究所附属火山活動研究センターによって桜島島内に設置されている定常地震観測網では、昭和火口噴火の前後にA型地震の地震活動、発生領域に大きな変化は見られず、山頂直下浅部でのみ発生していた。本報告では山頂付近、特に昭和火口下における地震の発生状況を明らかにするため、定常地震観測網より火口近傍に臨時地震観測点を設置し、火山性地震の観測を行ったので報告する。また、臨時観測中の2008年2月に発生した昭和火口噴火の爆発的噴火に伴う爆発地震についても報告する。

2. 観測

図1に火山活動研究センターによって設置されている桜島島内の定常地震観測点と今回設置した臨時地震観測点を示す。定常観測点は南岳山頂火口を囲むように10点設置されているが、火口の東側の観測点が少なく、山頂からの距離も遠い。昭和火口は南岳山頂火口の東約0.5 kmに位置しており、南岳直下と昭和火口直下の地震を分離するためには東西の観測点の到達時間差が重要になる。そのため、臨時観測点は火口を東西から挟むように、火口の北東側2.5 km (GON2: 31.58658°N, 130.68239°E, 242m)と南西側2 km (MOC: 31.57022N, 130.64059E, 295m)の位置に2点設置した。地震計は約50 cmほど埋設した。観測にはMark

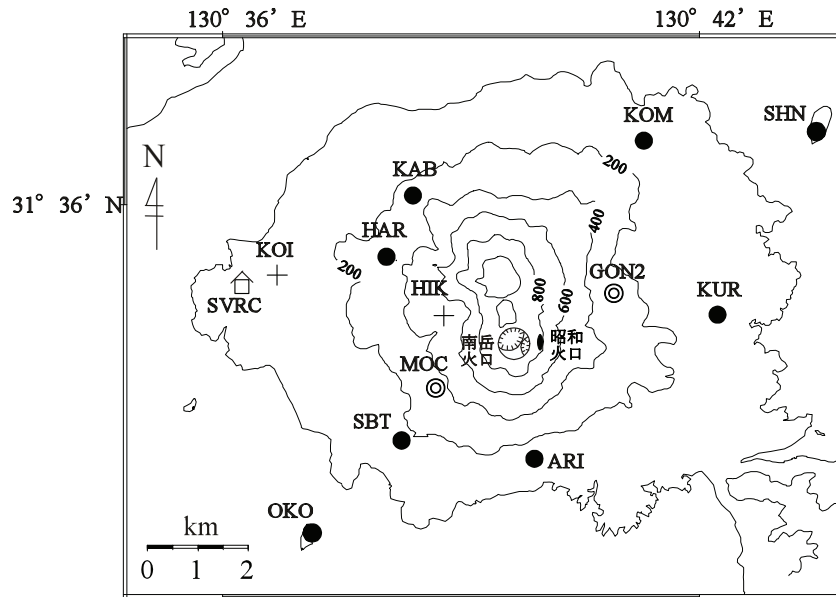


図1. 地震観測点分布。◎は臨時地震観測点，●は定常観測点(地中埋設型地震計)，+は定常観測点(地表設置)を示す。

Products 製 L4C 地震計(固有周期 1 秒)を使用し、地震計の出力は白山工業社製データ変換装置 LS7000-XT に有効分解能 24 bit, 200 Hz サンプリングで収録した。観測機器の電源は太陽電池とカーバッテリーで供給し、データは CF カードに収録する現地記録方式で観測を行った。データ回収の関係で GON2 観測点は上下動 1 成分のみ、MOC 観測点は 3 成分の記録を行った。MOC 観測点は 2007 年 6 月 5 日から、GON2 観測点は 2007 年 9 月 19 日から観測を開始し、2008 年 2 月現在も観測中である。

2007 年 9 月に GON2 観測点の設置を行ってから 2008 年 2 月までに 27 個の A 型地震、3 個の南岳山頂での爆発的噴火に伴う爆発地震が発生した。また、2008 年 2 月の昭和火口の噴火活動の際、2 月 3 日、2 月 6 日に昭和火口における爆発的噴火に伴う爆発地震が発生した。図2に臨時観測点で記録された A 型地震と昭和火口の爆発的噴火に伴う爆発地震を示す。A 型地震については、地表設置のため波形が複雑になっており、MOC 観測点の水平動記録でも S 波の判別は難しい。ただ、震源(南岳山頂火口直下)に近いので、P 波初動は明瞭であり、震源決定の際の初動到達時の読み取りは問題ない。爆発地震に関しても A 型地震と同様に波形は複雑であるが、P 波初動は明瞭である。

3. 震源決定

震源決定の精度を落とさないため、A 型地震については定常観測網で P 波初動の到達時刻読み取り数が 8 個以上、S 波の読み取り数が 4 個以上のもの、爆発地震については P 波初動の到達時刻読み取り数が 8 個以上のものについて解析対象とした。その結果、臨時観測中に発生

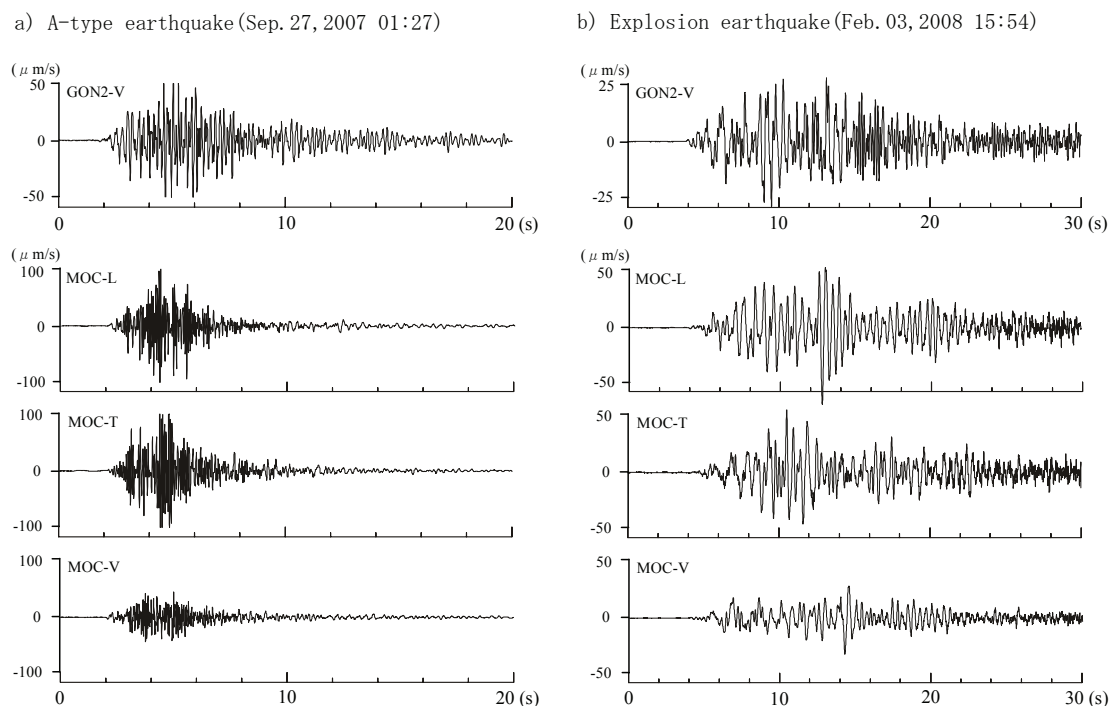


図 2. 観測波形例。a) A 型地震。b) 爆発地震。

したイベントのうち、18 個の A 型地震、5 個の爆発地震(南岳の爆発 3 回、昭和火口の爆発 2 回)の震源決定を行った。震源決定には Hirata and Matsu'ura (1987)⁸⁾ の決定方法を使用した。速度構造は P 波速度 2.5 km/s の半無限均質構造、 V_p/V_s 比を 1.73 と仮定した。

定常地震観測網のうち、HIK, KOI 観測点は地震計が地表に設置されているが、その他の観測点では 85~355m 深の観測井内に設置されている(図 1)。震源決定を行った 23 のイベントの理論到達時と観測値の残差は、HIK および KOI 観測点では全て正であったが、山頂南側の ARI, OKO 観測点では全て負となった。定常観測網の中で、山頂火口に最も近い HIK 観測点では相対的に遅く地震波が到達し、2 番目に近い ARI 観測点では早く地震波が到達している可能性があり、震源決定結果に影響を及ぼしている可能性がある。この残差は伝播経路の速度異常か観測点直下の影響かは分からないが、本解析では各観測点の残差を観測点補正值とみなし、初動読み取りの際に 23 例のイベントの平均残差を差し引いた時刻を読み取り値として震源決定を行った。

図 3, 4 に A 型地震の震源決定結果を示す。定常観測網で決定された震源を黒丸で、臨時観測点を含めて決定された震源を白丸でプロットしている。臨時観測中に発生した A 型地震の多くは南岳山頂直下の海水面下 0~3 km で発生している。また、中岳と北岳付近で 3 個の地震が発生している。桜島南西部のやや深部の地震は、今期間は発生していない。山頂直下の震源分布については、深部の地震は山頂火口南東端の下で発生しており、浅部になるほど西側に寄っていく分布になっている。臨時観測点を加えて決定された震源は、山頂直下 1 km より深い

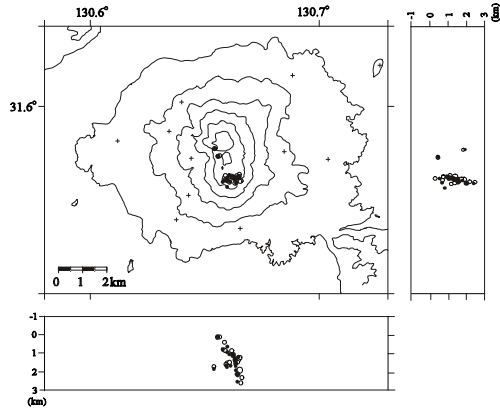


図3. A型地震の震源分布。●は定常観測網で決定した震源，○は臨時観測点を含めて決定した震源を示す。

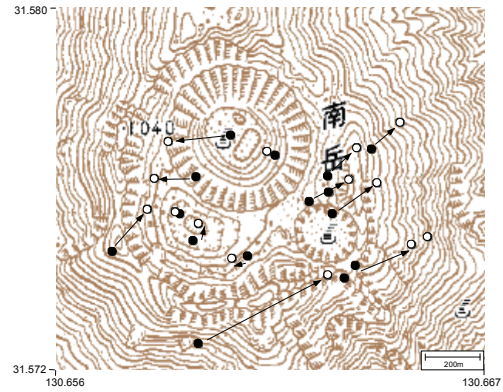


図4. 山頂付近で発生したA型地震の震央分布。定常観測網で決定した震央(●)は臨時観測点を含めると○の位置になる。矢印は各地震の震央の移動を示す。

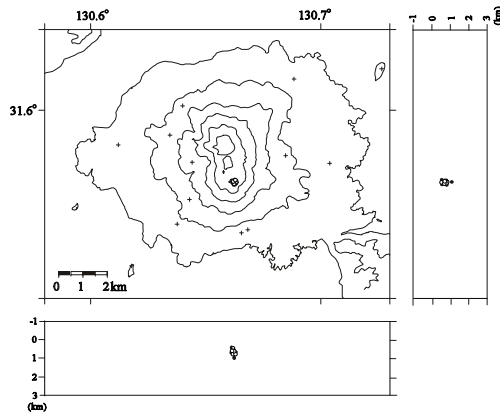


図5. 爆発地震の震源分布。○は臨時観測中に発生した爆発地震の震源分布，●は2007年に発生した爆発地震の震源分布を示す。

地震は全体的に200mほど東側に移動し、深さについてはあまり変化がない。浅部の地震については、一定方向への震源位置の変化は見られないが、南岳山頂火口内に求まっていた震源は西に移動し、火口の西端付近に決定された。

図5に臨時観測期間中に発生した5例の爆発地震(白丸)と観測期間中以外の2007年に発生した爆発地震(黒丸)の震源を示す。全ての爆発地震が南岳山頂火口内の深さ0.5~1.5

kmで発生しており、山頂爆発と昭和火口における爆発も爆発地震の初動の震源は同じ領域で発生している。また、この期間の爆発地震の震源は Iguchi et al. (1994)⁶⁾, Tameguri et al. (2002)⁷⁾で報告されている位置と同じ領域であった。

4. 考察

図6に今回決定された地震の震源分布(黒丸)と Hidayati et al. (2007)⁴⁾の南岳山頂直下の震源分布を示す。震源決定を行った地震のうち、山頂火口の東端付近の1 kmより深部の地震が2008年2月の昭和火口の活動と関連して発生したかどうかという点に注目する。Hidayati et al. (2007)⁴⁾では1998年から2005年に発生したA型地震について震源決定を行っている。本報告の震源付近でもその期間にA型地震は発生しており、特に2008年2月の噴火に関連して山頂

火口の東端下で A 型地震が発生していたとは明言できない。

また、昭和火口で発生した爆発的噴火に伴う爆発地震については、南岳の山頂火口における爆発的噴火に伴う爆発地震と同じ領域で発生していた。つまり、爆発地震としては従来の山頂爆発と同じ南岳の直下で発生し、表面での爆発現象が昭和火口で発生したと言える。初動が不明瞭なため震源決定ができない小規模な A 型地震や B 型地震が南岳直下から昭和火口への火道形成やマグマの移動によって発生している可能性があるが、それを明らかにするためにはより火口近傍での地震観測が必要であろう。

地表設置の観測点と観測井内に地震計を埋設している観測点では震源決定の際の残差に違いが見られた。地表設置の観測点では残差が正であるため、地震波が相対的に遅く到達し、地中埋設の観測点(特に ARI, OKO 観測点)では残差が負であるので、地震波が早く到達していると考えられる。本報告では、残差を観測点補正值として読み取り値から差し引いた。恐らく、地表面付近の地震波速度は火砕物の堆積等の影響で仮定している速度 ($V_p=2.5$ km/s) より遅いと考えられる。また、ARI, OKO など桜島南部の観測点は始良カルデラの南壁に近く⁹⁾、カルデラの外側の伝播速度が高速であると考えられる領域を地震波が通っている可能性がある。

山頂直下の A 型地震の震源分布は 1 km より深部では火口の東側、浅部では火口の西側に寄る傾向が見られる。また、Hidayati et al. (2007)⁴⁾ の結果では 1.5 km 付近に A 型地震が多く発生し、その上部(1.3km 付近)では A 型地震が少ない領域が見られる。爆発地震は A 型地震

が少ない領域で発生している。爆発地震の発生領域の議論をする上で、この A 型地震の震源分布は非常に興味深い結果である。今後も火口近傍の臨時観測を継続し、データ蓄積を行う予定である。ただ、このような狭い領域での震源に対して細かい議論をする上では、震源決定に使用する速度構造が大きく影響する。今回の地震観測網では、震源決定の際に仮定する P 波速度を ± 0.1 km/s 変化させた場合、震源位置は全体的に深さ方向で ± 150 m ほど移動する。震源の深さはその深度での火道内のマグマ物性や圧力等を議論する上で重要である。そのためには、先に述べた各観測点における観測点補正值や山体周辺の数値構造を詳細に調べること

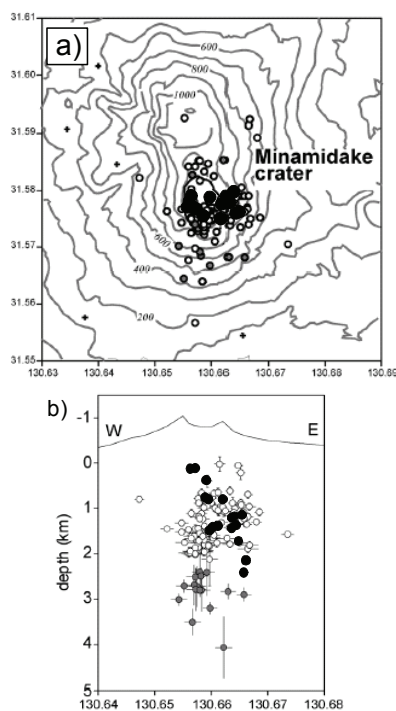


図 6. Hidayati et al. (2007)⁴⁾ の震源分布と本解析で決定した震源(●)

が不可欠であり、桜島火山体構造探査が待たれる。その後、近年行われている三次元速度構造を用いた火山性地震の震源決定によって(例えば, Onizawa et al., 2007¹⁰⁾), より精度の高い震源位置や爆発機構の議論が行えるようになると考えられる。

5. まとめ

桜島火山の山頂付近で発生する地震, 特に山頂火口と昭和火口付近の震源分布を詳細にするため臨時地震観測を行った。その結果, 2008年2月の昭和火口噴火の前後に発生したA型地震の震源は従来の震源位置と同じ領域で発生していた。昭和火口の爆発的噴火に伴う爆発地震についても, これまでの南岳山頂火口の活動に伴って発生する爆発地震と同じ領域で発生していた。

謝 辞

GON2観測点の設置にあたり, 東京工業大学の攪上勇介氏, 日本学術振興会特別研究員の横尾亮彦氏にご助力いただいた。定常観測点の保守およびデータ蓄積は火山活動研究センター全スタッフの協力の元に行われている。記して感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 清水 洋・植木貞人・高木章雄 (1982): 桜島で観測される火山性地震波動の性質, 第4回桜島火山の集中総合観測, 11-17.
- 2) 加茂幸介・西 潔・井口正人・高山鉄朗・清水邦夫・山里 平 (1988): 桜島火山の地震活動, 第6回桜島火山の集中総合観測, 7-13.
- 3) 加茂幸介・西 潔・井口正人・高山鉄朗・池田安彦・宇平幸一 (1989): 桜島火山の地震活動, 第7回桜島火山の集中総合観測, 7-11.
- 4) Hidayati, S., Ishihara, K. and Iguchi, M. (2007): Volcano-tectonic earthquakes during the stage of magma accumulation at the Aira calder, southern Kyushu, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 52, 289-309.
- 5) 加茂幸介 (1978): 桜島火山における噴火の前駆現象と予知, 火山, 第23巻, 53-64.
- 6) 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, 49-67.
- 7) Tameguri, T., Iguchi, M. and Ishihara, K. (2002): Mechanism of explosive eruptions from moment tensor analyses of explosion earthquakes at Sakurajima volcano, Japan, Bull. Volcanol. Soc.

Japan, Vol. 47, 197–215.

- 8) Hirata, N. and Matsu'ura, M. (1987): Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol. 47, 50–61.
- 9) Matumoto, T. (1943): The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu, Japan, *J. Geol. Geogr.*, Vol. 19, 1–57.
- 10) Onizawa, S., Oshima, H., Aoyama, H., Mori, H., Maekawa, T., Suzuki, A., Tsutsui, T., Matsuwo, N., Oikawa, J., Ohminato, T., Yamamoto, K., Mori, T., Taira, T., Miyamachi, H. and Okada, H. (2007): P-wave velocity structure of Usu volcano: Implication of structural controls on magma movements and eruption locations, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 160, 175–194.

(Received on March 11, 2008)

