鹿児島湾の桜島火山周辺海域における海底地震観測

八木原 寛*・平野舟一郎*・宮町宏樹* 高山鐵朗・市川信夫・為栗 健・井口正人

* 鹿児島大学大学院理工学研究科

要旨

姶良カルデラの地盤が膨張に転じた後に活動が高まった桜島火山周辺領域のVT地震の 観測や火山体深部速度構造の解明のためのデータ蓄積を目的として,海底地震観測を実施 した。OBSのレコーダーの不具合が発生し,データが取得できたのは1点のみに留まった。 さらに,観測期間中の桜島火山周辺領域のVT地震活動は低調であった。目的としたVT地震 の詳細な解析はできなかったが,OBS観測点の常時微動レベルが得られるとともに,観測 波形から海底での地震観測の有効性が示された。

キーワード: 桜島火山, 海底地震観測, VT地震

1. はじめに

桜島火山とその周辺領域下では、姶良カルデラの 地盤が膨張に転じた1993年以降、2002年から火山構 造性地震(Volcano-Tectonic Earthquake,以下 VT地震 と記す)の活動が高まった(Hidayati et al., 2007)。 桜島火山の周辺領域下のVT地震活動は、桜島南西沖 だけでなく、従来ほとんど認められなかった姶良カ ルデラ北東海域下でも発生した(Hidayati et al., 2007)。 これら桜島火山の周辺領域で発生するVT地震は、桜 島火山直下のVT地震活動と比較すると、episodic に 活動する特徴を呈する。

Hidayati et al. (2007) は,陸上地震観測点の波形デ ータを用いて桜島火山直下,及び周辺領域のVT地震 の震源分布と震源メカニズムを求め,地盤変動現象 も合わせて考察することにより,VT地震の起震応力 と地盤変動を統一的に説明するマグマ供給系の力学 モデルを示した。桜島火山の南西沖のVT地震活動は, 姶良カルデラ下の圧力源から南岳下方を通り,さら に南西方向に伸びるような開口的なマグマ貫入イベ ントに関連することが示唆された。桜島火山の噴火 活動の準備過程において,顕著なマグマ貫入が発生 した場合,桜島南西海域のVT地震活動が再び活発に なるかもしれない。一方,Hidayati et al.(2007)のモデ ルでは,姶良カルデラ北東海域下のVT地震活動は, 姶良カルデラの応力場の変化によって生じると考え られている。姶良カルデラ北東海域下のVT地震は, 桜島の北東部や東部の陸上既設地震観測点における 地震波の振幅減衰が大きく,M1程度以上のマグニチ ュードのVT地震でなければ,震源を決定することが 困難である(為栗私信,2010)。震央の近傍におい てごく微小なVT地震の検出し,震源を決定するため には,既設の陸上観測点での地震観測に加えて,海 底地震観測が必要である。

他方, 桜島の火山体深部についての空間分解能の 高い3次元地震波速度モデルはこれまで得られてい ない。桜島は海域に囲まれるため,空間分解能を向 上させて桜島の火山体深部の速度構造を求めるため には,陸上における長期の既設,及び臨時地震観測 だけでなく,桜島火山の周辺領域における海底地震 観測も必要である。

以上のことから,著者らは桜島火山の北方及び南 方海域で海底地震計を用いた地震観測を計画した。 観測に用いた海底地震計は自己浮上型で,電源電池 の放電や地震計本体の埋積回避の観点から,1回の観 測期間は最長で約3ケ月程度が限界と考えられるた め,より長期の観測データを得るために同一位置で 繰り返し観測を実施することを計画し,平成21年度 に観測を開始した。平成21年度は約2ヶ月間の観測を 実施したが,レコーダーに不具合が発生し,観測期 間を通してデータを収録できたのは1点のみであった。加えて、観測期間中はVT地震活動が低調であった。本稿では、観測について報告するとともに、ノイズレベル、及び姶良カルデラの東海域下で発生したVT地震の観測波形について示す。



Fig. 1 Epicenter distribution of the volcanotectonic earthquake occurred during the OBS observation. Locations of eismic stations are also shown. (see the legend)

2. 観測

Fig.1に,海底地震観測点,京都大学防災研究所附 属火山活動研究センター(SVRC)の地震観測点,鹿 児島大学大学院理工学研究科附属南西島弧地震火山 観測所(NOEV)の地震観測点,国立防災科学技術 研究所のHinet観測点,及び観測期間中に発生したVT 地震の震央(NOEVの手動験測による震源計算結果) を合わせて示す。

著者らは、養殖漁業用のユニックを装備した小型 兼用船 [(有)和美水産,第十三三代丸(総トン数 15トン)]を使用して、3台の海底地震計(Ocean Bottom Seismograph,以下OBSと記す)を桜島火山の 周辺海域に設置した(Fig.1 のOBS-1~3)。当初の 計画では、2009年10月~12月期、及び2010年1月~3 月期の2期間において観測を実施する予定であった が、鹿児島湾内の小型底曳網漁業者やまき網漁業者 との交渉に時間を要したため、2010年1月19日(投入) ~2007年3月9日(揚収)の約2ケ月弱のみの実施にと どまった。OBSの投入予定位置は、小型底曳網の漁 場と海上自衛隊鹿児島試験所の水中試験領域内を避 ける形で計画された。桜島火山の周辺海域において は、海上自衛隊鹿児島試験所の水中試験領域の周辺 を除けば、観測機器を水深100m以深の海底に長期間 設置することは困難である。

使用したOBSは, 桜島火山の周辺海域で初めて OBS観測を実施した2007年8月~2007年12月(八木原 ら, 2008)に使用したものとほぼ同一の自己浮上型 であるが、一部、レコーダー、収録メディア、及び 電源電池が異なる。センサー出力はレコーダー(勝 島製作所、HDDR3C/KG)によって24bitの分解能で 200Hzサンプリングされ、そのうちの上位20bitが 40GBのハードディスクに収録されるように設定し た。2個のハードディスクを接続し、1個のハードデ ィスクに障害が発生し、データを書き出せなくなっ た場合はもう1個のハードディスクに書き出される ように冗長性を持たせた設計がされている。電池は リチウム電池(勝島製作所、3B76-3A)を3個並列と した。この個数の電池で約3ヶ月長の連続観測が可能 である。できる限り長期の観測データを取得するた めに、OBS観測を今後も同一位置で繰り返し実施す る計画である。

使用船舶にはGPSプロッター等の航海計器が装備 されていないため、SBASの補正情報によるDGPSの 機能をもつGPSコンパス(Hemisphere, V110)を設置 し、ノートパソコンに接続した。GPSコンパスから 1Hzで出力される船位と船首方位情報は,ノートパソ コン上の電子海図ビューワーソフト (ピーシースタ ジオアルファ, AlphaMap Pro版) で電子海図上に船 位と船首方位を表示させて,使用船舶を誘導するた めに使用した。同時に、このビューワーソフトは、 GPSコンパスから出力される測位データをテキスト ファイルとして保存する機能を備える。一方で, AIS 受信機(横浜システムマリン, AIS-R70)を使用船舶 に設置し, 大型船舶から発信される静的, 及び動的 情報を電子海図ビューワー上に重畳表示させること により他の大型船舶の動静を早期に把握し、船舶航 行における安全の向上を図った。GPSコンパスやAIS 受信機を装備することにより、2007年のOBS観測時 よりもさらに作業効率や安全性が向上した。また, 魚群探知機(Honden, HE-61GPII)を取り付け,投入 直前において海底面の傾斜が急でないことの確認や, 揚収時のOBSの浮上開始確認に用いた。使用船舶が OBSのほぼ直上に位置する場合は、 浮上中のOBSを 魚群探知機の測深モード画面で確認することが可能 である。

OBSの着底位置決定のための測距(使用船舶と着 底したOBS間の距離測定)と位置決定の方法は,2007 年のOBS観測(八木原ら,2008)のものとほぼ同一 である。ただし,着底位置計算の際に使用する船位 情報には,GPSコンパスから出力されたDGPS測位情 報を用いた。

以上の機器の電源は、DC12V入力の機器に対して はディープサイクルバッテリ(GSユアサ, NPH12-12) を, AC100V入力の機器に対してはディープサイクル バッテリ(GSユアサ, SEB65)と正弦波インバータ(未 来舎, FI-S603)を用いて供給した。OBSとの音響通 信に用いるトランスデューサーとその船上支援装置 は、矩形波や擬似正弦波出力のインバーターでは正 常に動作しないため、正弦波インバーターを用いる 必要がある。

OBS-1~3の投入と揚収作業は順調に行なわれ,投入直前と揚収直後のOBS内部時計の時刻較正も成功 した。しかしながら、3台のうち2台(OBS-1,及び OBS-3)は、収録開始直後においてレコーダーにハ ングアップが発生し、ハードディスクにデータが書 き出されておらず、観測が失敗した。ただしOBS-3 では、収録開始後12時間のみのデータが内部メモリ に残っていた。この不具合は、OBSの組立て前に行 なった1~2時間長のレコーダー収録試験では検出で きない性質のものであった。OBS-2のデータは、投 入直前と揚収直後の時刻較正データを用いて、OBS の内部時計のずれが線形であることを仮定して補正 した。

3. 常時微動レベルとVT地震の観測波形

3.1 常時微動振幅レベル

各OBS観測点の常時微動の振幅レベル(以下では, 振幅レベルと記す)を求めるために,3成分のデータ それぞれについて,1分長の波形データを用いて振幅 のRMS値を1分毎に計算した。OBS-2の各成分におけ る5日間のRMS振幅値の時間変化を Fig.2 に,OBS-3 の12時間におけるRMS値の時間変化を Fig.3 に示す。 これらのRMS振幅値の時間変化のベースラインの振 幅値を読み取り,両観測点の上下動,及び水平動成 分の常時微動振幅レベルとした(Table 1)。水平動 成分の振幅レベルは,水平動2成分それぞれの振幅レ ベル値の二乗和の平方根で求められるとした(八木 原ら,2008)。

OBS-2の上下動成分,及び水平動成分の常時微動 の振幅レベルはそれぞれ,約0.06 µ m/s,及び約0.15 µ m/sであることが分かった。また,OBS-3のそれは, 約0.05 µ m/s,及び約0.15 µ m/sであることが分かった。 両観測点ともに,水平動成分の振幅が上下動成分の それよりも約3倍大きい。桜島火山の爆発地震のS/N が大きかった2007年のOBS-S1,及びOBS-S2の振幅比 は約2.2倍であった。今回の両観測点は2007年の OBS-S1,及びOBS-S2よりも未固結堆積物の層厚が やや厚いかもしれない(八木原ら,2008)。 OBS-2では、3成分ともに1日毎に振幅が山形に増 加する時間変化が認められる。この時間変化には特 徴があり、06時前後から振幅が増加し、12時前後に 一時的に振幅が減少し、その後再び増加して18時前 後に振幅が減少し始める規則的な変化を示す。この 特徴的な時間変化は、陸域の人間活動による人工ノ イズと考えられる。これは、2007年観測時にも観測 されており、陸域に近い鹿児島湾内での海底地震観 測で一般的に認められる現象と考えられる。



Fig. 2 Time sequence of RMS velocity amplitudes on each component observed at OBS-2 for 5 days.



Fig. 3 Time sequence of RMS velocity amplitudes observed at OBS-3 only for 12 hours.

Table 1 Positions of the OBS and the observed velocity amplitude.

Station	Position (WGS-84)			Amplitude (μ m/s) *		Observation period (2010)
	Latitude (N)	Longitude (E)	$\operatorname{Depth}(m)$	Vertical Horizontal		Observation period (2010)
OBS-1	31° 39.5449'	130° $45.1996'$	149	unknown	unknown	failed
OBS-2	31° 41.8599'	130° $43.0169'$	96	0.2	0.8	$01/19 \ 12:00 \sim 03/09 \ 09:52$
OBS-3	$31^{\circ} 29.9472'$	130° 35.5571'	94	0.5	0.9	$01/19 \ 15:00 \sim 01/20 \ 02:59$

*Velocity amplitude of observed microtremor at each station

3.2 VT地震の観測波形

OBS観測期間中に桜島火山の周辺で発生したVT 地震は姶良カルデラの東海域下の2個のみであった (Fig.1)。いずれも2月14日の18時台に発生しており, マグニチュードは1クラスである。一方, 桜島南西沖 のVT地震は観測期間中には発生しなかった。目的と した桜島火山の周辺領域のVT地震活動は,この観測 期間中は低調であった。

Fig.4 に,姶良カルデラの東海域下で発生したVT 地震のOBS-2,及び周辺の陸上既設観測点(SVRCの FUK,SHN,KOM,KUR,及びNOEVのTKAK)で観 測された上下動波形を示す。加速度計が設置されて いるSHN以外の観測点については,速度波形を示す。

姶良カルデラの東海域下で発生したVT地震の観 測波形の特徴は次のとおりである。震央に対して西 ~南西方向に位置する桜島島内(KOM,及びKUR) と新島 (SHN)の観測点においては、S/Nが小さいだ けでなくP波,及びS波いずれの振幅も相対的に小さ い。これらの特徴は、震源の放射特性よりもむしろ、 震源と観測点間の地震波の伝搬経路上に顕著な減衰 領域が存在することを示唆する。一方、震央に対し て北西~東~南方向位置する観測点(OBS-2, FUK, TKAK)においては、S/Nが大きいだけでなく、地震 波の振幅も大きい。さらに、P波初動の立ち上がりが 明瞭である。以上のことから,新島を含む桜島北東 部から東部にかけての観測点と比較して、地震波減 衰が相対的に小さいことが示唆される。OBS-2は, 相対的に震央距離が大きいが、P波初動の立ち上がり が明瞭であるため、この位置においてOBS観測を繰 り返し実施することは、姶良カルデラ北東〜東海域 下のVT地震の観測研究に有効であると考えられる。



Fig. 4 The observed waveforms (UD component) at OBS-2 and the land seismic stations in and around the northeastern part of the Aira Caldera.

桜島火山の北東部〜東部に位置する地震観測点については地震波減衰が顕著である。表層は歴史時代の溶岩流に覆われるが、桜島火山の形成過程における火山砕屑物の堆積が地震波の減衰に寄与しているのかもしれない。

4. おわりに

桜島火山の周辺海域の3点において海底地震観測 を実施した。機器の不具合により,順調にデータを 取得できたのは1点のみであった他,目的とした桜島 火山周辺のVT地震活動は低調であったため詳細な 解析はできなかったが,観測波形から海底での地震 観測の有効性が示された。桜島北東〜東部にかけて の陸上観測点の地震波減衰が大きいため,今後は, 桜島の東海域(黒神沖など)でのS/Nが大きいOBS観 測点を探索すると,より効果的であるかもしれない。

謝 辞

(有)和美水産,第十三三代丸の篠原重人船長に は終始御協力いただきました。鹿児島大学大学院水 産学研究科附属南星丸の内山正樹船長,同研究科の 大富 潤教授,及び中村啓彦准教授には,鹿児島湾 内の底曳漁業について御教示いただきました。海上 自衛隊鹿児島試験所,鹿児島県漁業共同組合連合会, 錦江漁業共同組合をはじめとする鹿児島湾内の小型 底曳網漁業者,まき網漁業者の皆様には,観測の目 的や実施内容等について御理解を賜りました。鹿児 島海上保安部交通課,日本小型船舶検査機構鹿児島 支部には,使用船舶の航行や検査に関する事項につ いて御教示いただきました。以上の皆様に記して感 謝申し上げます。

参考文献

- 井口正人・為栗 健・横尾亮彦(2008):火山活動 の経過-1997年~2007年-,第10回桜島火山の集中 総合観測-2007年6月~2008年3月-, pp.1-18.
- 八木原 寛・平野舟一郎・宮町宏樹・井口正人・為 栗 健・高山鐡朗・山崎友也(2008):若尊カルデ ラおよび桜島南方海域における海底地震観測,第10 桜島火山の集中総合観測-2007年6月~2008年3月 -, pp.27-36.
- Hidayati, S., Ishihara, K. and Iguchi, M. (2007): Volcano-tectonic Earthquakes during the Stage of Maguma Accumulation at the Aira Caldera, Southern Kyushu, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 52, pp. 289-309.

Seismic Observation at Sea Bottom around Sakurajima Volcano, Kagoshima Bay

Hiroshi YAKIWARA*, Shu'ichiro HIRANO*, Hiroki MIYAMACHI*, Tetsuro TAKAYAMA, Nobuo ICHIKAWA, Takeshi TAMEGURI, Masato IGUCHI

* Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University

Synopsis

We deployed three Ocean Bottom Seismographs (OBS) around Sakurajima Volcano to observe the volcano-tectonic earthquakes (VT earthquakes) excited by the stress change in relation to the magma accumulation to the supply system. However, we successfully retrieved data at only one station by recorder failure. In addition, few VT earthquakes occurred during the observation period. Although, we could not analysis the details for VT earthquakes around the volcano, we obtained the velocity amplitude of microtremor at the OBS stations and the effectiveness of the observation at the sea bottom.

Keywords: Sakurajima volcano, OBS observation, Volcano-tectonic earthquake