

桜島で起こる爆発地震の超長周期帯域のソースプロセス

Analysis of the source mechanism of earthquakes associated with eruptions of Sakurajima volcano

○高橋龍平・中道治久

○Ryohei TAKAHASHI, Haruhisa NAKAMICHI

Explosion earthquakes associated with Vulcanian eruptions represent phenomena such as magma rise and volume changes at the source. Seismic waveforms in the very-long-period (VLP) band are less affected by heterogeneous structures characteristic of the volcano so that it can extract volume and pressure changes due to the movement of magmatic fluids during the eruption. We investigated the source processes in the VLP band of explosion earthquakes using the waveform inversion method. The analysis shows that a dominant subhorizontal sill, a sub-vertical crack, and single forces in the shallow area near the crater can explain the source processes.

1. はじめに

爆発地震については、これまでに様々な火山において観測、解析が行われており、噴火機構の理解に有用な火砕物の放出に伴う反力およびマグマ等の上昇に伴う抗力、マグマの発泡現象に伴う体積変化が超長周期帯域(Very-long-period: VLP)の解析により抽出されている(e.g. Ohminato et al., 2006; Kim et al., 2014)。桜島においては、これまでに爆発地震の解析結果から地下深部のマグマ中のガスの上昇過程(Uhira and Takeo, 1994)、爆発地震の初期過程の解析から地下深部の爆発から始まるガスだまりの破裂とガスの放出過程が解釈されている(Tameguri et al., 2002)。一方、近年の桜島研究では爆発地震の初動解析より震源位置は噴火口から深さ数 100m 付近に推定されている(Nishimura et al. submitted)。また、既往研究において VLP(0.01-0.5 Hz)での震源位置は噴火口付近の浅部に決定されている(e.g. Chouet et al., 2005; Lyons and Waite, 2011, Kim et al., 2014)。VLP の波形は火山特有の不均質構造の影響を受けにくく、波形解析から震源における噴火に関わるマグマ等の流体の運動による体積変化および圧力変化を抽出することができる。そこで、本研究では、桜島の噴火に伴う地震について VLP 帯域の波形解析によりソースプロセスの理解を試みた。

2. 解析データ

桜島においては山頂を取り囲むように、山頂からの距離 2 km から 8 km の範囲にある 5 箇所に広帯域地震計が設置されており、連続観測が行われている。山頂からみた観測点の方位角分布において

観測点が少ない地域に広帯域地震計 1 台を増設し、2022 年 4 月 29 日から 2023 年 9 月 26 日の期間の臨時観測を行った。鹿児島地方気象台が報告する桜島の爆発・噴火リストから解析対象を決定するため、初めにテンプレートとするイベントを決定した。桜島島内では、0.1-0.5 Hz の帯域において脈動ノイズが確認されている。0.1-0.5 Hz の周波数帯における振幅スペクトルを噴火前のノイズ部分と、爆発地震について求めて、これを SN 比と定義する。2022 年 7 月 24 日 20 時 05 分爆発のイベントは、SN 比がすべての観測点・成分で 15 を超えていた。このイベントをテンプレートイベントとして噴火口に最も近い観測点 AR1 の上下動成分について 0.1-0.5 Hz のバンドパスフィルターを適用して噴火時刻前後 3 分間の波形を作成し、爆発・噴火リスト中のイベント波形との相互相関係数を計算し、0.9 以上のイベントを抽出した。抽出したイベントのうち、観測機器の故障が無く全ての観測点で利用可能なイベントはテンプレートとしたイベントのみだった。

3. 桜島で発生する超長周期地震と解析手法

本研究では、2022 年 7 月 24 日 20 時 05 分爆発イベントの LP 帯域(0.5-5Hz)と VLP 帯域を対象にソースメカニズムを求めた。観測記録の振幅スペクトルから 0.067-1Hz において十分な SN 比率のエネルギーがあったことから、解析時には 0.067-1 Hz の最小位相バンドパスフィルターを適用した。解析には波形インバージョン法を用いており(Auger et al., 2006)、グリーン関数は人口震源を用いた構造探査の結果をもとに計算した(Miyamachi

et al., 2013)。ソースメカニズムとして、モーメントテンソル 6 成分+シングルフォース 3 成分、モーメントテンソル 6 成分、シングルフォース 3 成分の 3 つのモデルについて点震源を仮定し、震源位置はグリッドサーチによって求めた。

爆発地震に伴って発生する空振は、空中を伝播し上下動成分の振幅に大きな影響を及ぼす(e.g. Ichihara et al., 2016)。そこで、変位波形にバンドパスフィルターを適用したのちに、各観測点の空振到達時刻の上下動成分の変位波形の振幅、空振到達時刻前後の粒子軌跡の変化を調べた。空振到達時刻に空振振幅に対応する下向きの振幅が捉えられていた、または粒子軌跡の伸長方向に著しい変化が見られた観測点・成分は空振による地震波形への影響があると判断して、空振到達時刻よりコサインテーパ関数を適用して影響を低減させた。

4.解析結果及び議論

7月24日のイベントについて解析した結果、残差値およびAICの値からモーメントテンソル6成分+シングルフォース3成分が最適であることが分かった。グリーン関数が類似するモーメントテンソル M_{zz} 成分とシングルフォース F_z 成分について、全ての観測点の上下動成分で寄与が逆位相とはなっていないことから、モーメントテンソルとシングルフォースの両方のモデルを仮定することに問題はない。震源位置は、噴火口近くの海拔約600mに決まった。得られた震源時間関数から、図2の陰影部のモーメントテンソル6成分の主軸を求めたところ、 $(4.35, 1.47, 1.00) \times 2.57 \times 10^{12}$ N mとなった。ラメ定数を $\lambda = \mu$ と仮定したところ、東北東に約37度傾斜したシル状クラックと、それに対して12%程度の負の寄与をする東向きに25度傾斜したダイク状クラックで近似できることが分かった。シル状クラックの体積変化量は1050m³、ダイク状クラックは150m³であった。震源時間関数と推定された空振発振時刻から、空振発振前に膨張し、空振発振時刻に到達するところでわずかに収縮している。空振発振時刻後再び膨張、収縮といった過程を経ていることが分かる。震源時間関数から空振発振前の膨張は、初動に対応していることから、マグマ中のガスの気泡破裂によって生じ、同時にガスの上昇の反力として下向きの力として現れたと考えられる。その後、空振発生で火道を塞いでいた溶岩プラグが破壊され

火道内の圧力が瞬間的に低下したと考えられる。その後、火道内の圧力の低下により発泡現象が進行して膨張すると同時に溶岩プラグ破壊による反力が働いたことが考えられる。そして、マグマの上昇による収縮と抗力が働いたことが考えられる。

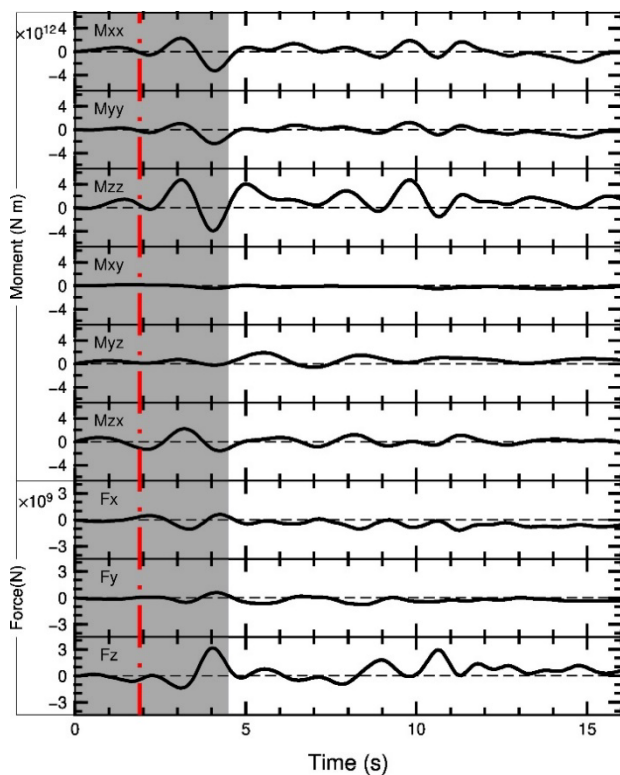


図1 2022年7月24日発生の爆発イベントの震源時間関数。赤線は推定された空振発振時刻。

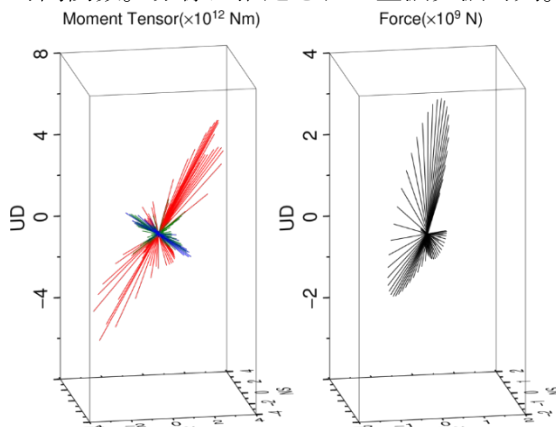


図2 図2の陰影部のモーメントテンソル6成分の固有値ベクトル(左：南側視点)とシングルフォース(右：南側視点)の3次元プロット

謝辞: 国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所の観測坑道内の広帯域地震計記録と、気象庁の広帯域地震計記録を利用した。本研究は東京大学地震研究所共同利用(2022-M-15)の援助をうけた。記して感謝する。

