

地球物理観測による桜島昭和火口の噴火プロセスへの一考察

横尾亮彦*・為栗 健

* 日本学術振興会特別研究員

要 旨

桜島昭和火口で2009年2月～4月に発生した噴火のうち、空気振動波形の明瞭な81イベントについて空気振動波形と地震波形のスタッキング処理を行い、それぞれの特徴抽出を行った。空気振動波形については、大振幅で急速な圧力上昇で特徴付けられる主要相に前駆して、微弱で緩慢な圧力上昇のある先行相が認められた。この先行相には継続時間や波形にバリエーションがあることも確認できた。地震波形の先頭部分には特徴的な3つの位相（順にP波、レイリー波、レイリー波）が見出せた。山頂火口の噴火過程の知見を基にこれらを鑑みると、最初のP波は山体内部で発生した地震によって励起され、また、二つ目のレイリー波は、空気振動現象の形成に対応した火口底直下の膨張現象によって放射されたと考えられる。他方、一つ目のレイリー波は、昭和火口の噴火地震にのみ観察されることから、昭和火口の噴火過程を決定付ける重要な現象だと考えられる。

キーワード：桜島、昭和火口、空気振動、地震、スタッキング処理、噴火過程

1. はじめに

桜島の昭和火口が2006年6月に58年ぶりに活動を再開し、数日～数ヶ月程度の休止期を幾度か挟みながら、2009年5月末現在まで噴火活動を継続している（例えばYokoo and Ishihara, 2007; 横尾ら, 2008）。2006年の噴火活動では空気振動・地震ともに検出限界程度か、それ以下であったものの（井口ら, 2008a）、2007年以降になるとそれぞれの噴火イベントに対応する明確な記録がとらえられるようになった。2008年2月には流下距離1.5 kmの高温火砕流を伴う爆発的な噴火活動があったほか（視線距離3.5 kmのKURからの赤外映像で噴煙表面温度260℃以上）、2009年2～4月は伝播距離2.3 kmのARMで100 Paを超える空気振動が記録されるような爆発的な噴火が頻発した（Figs. 1 and 2）。2009年の噴火活動は、その発生時刻が夜間であった場合、国土交通省が桜島内外に展開した超高感度カメラ網によって、赤熱岩片を火口周辺の数100 m～1 km程度の範囲に飛散させる様子が鮮明に捉えられることが多い（Fig. 3）。また、2009年3月10日の噴火では、水平距離2 km程度の噴石が飛散するなど（福岡管区気象台・鹿児島地方気象台, 2009）、全体的に見て、昭和火口の活動度は年を

経るごとに高まってきているといえる（井口ら, 2008a）。

桜島では他項目地球物理観測が定常的に実施されており、この結果を利用してTameguri et al. (2002) や Iguchi et al. (2008) などが、山頂火口で発生する爆発的噴火（ブルカノ式噴火）の発生過程やそのダイナ

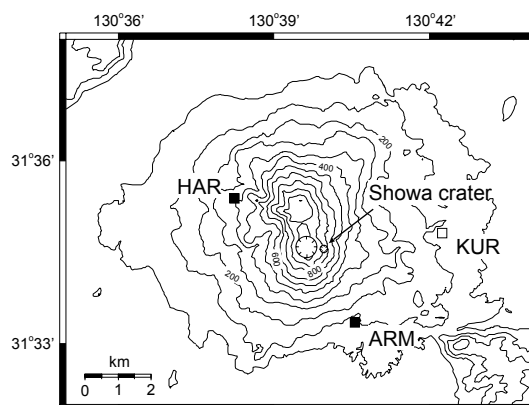


Fig. 1 Map of Sakurajima volcano with infrasound and seismic stations of ARM and HAR (solid symbols), respectively. A white symbol labeled by KUR denote a station equipped with visible and infrared video monitoring systems.

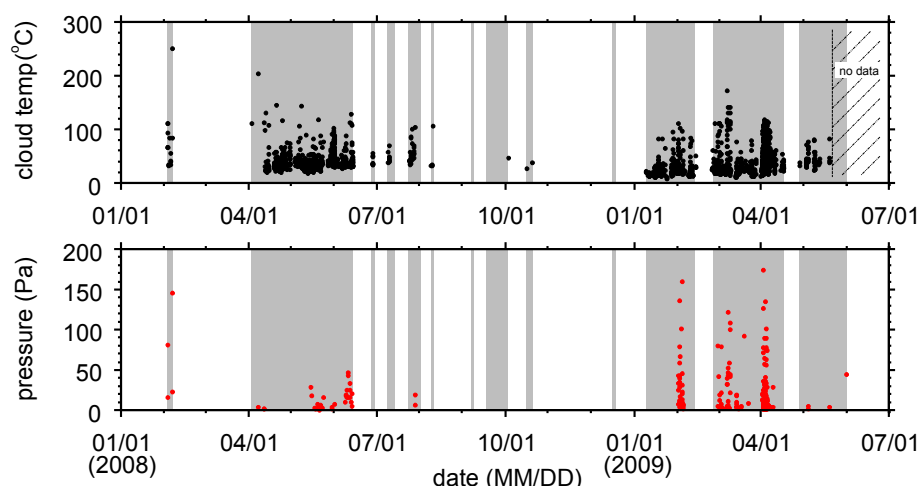


Fig. 2 Temporal changes in the recent 1.5 years of cloud temperatures measured by an infrared thermal camera from KUR (upper) and peak amplitudes of infrasound waves recorded at ARM (lower). Gray colored periods indicate the occurrences of eruptions at Showa crater (data was obtained until the end of May 2009). No thermal data was obtained since May 20, 2009, due to maintenance of the observatory itself at KUR.

ミクスを明らかにしてきた。その中でも、噴火に伴う空気振動現象に着目した研究例として Ishihara (1985) や Yokoo et al. (2008) がある。噴火映像と地震記録との時間対応性を検討した Ishihara (1985) は、爆発地震が桜島の地下1~3 kmで発生してから、1.5~2秒程度遅れて、火口底から衝撃波として空気振動が放射されることを明らかにした。これは、噴火前に形成されていた火口底浅部の圧力溜まりが等方的に膨張 (Tameguri et al., 2002)、破裂することで発生したものと解釈されている。Yokoo et al. (2008) は、噴

火映像記録と地震・空気振動記録の時間対応性についてより詳細に調べ、噴火発生の瞬間の火口底面の変形・破壊過程と空気振動の波形特徴との関係性について考察した。すなわち、圧力溜まりの膨張開始とほぼ同時に一部の火口底面が変形を開始し、その後0.5秒程度の時間をかけて数100 m³隆起する。この地盤隆起過程によって周囲大気が押され、空気振動（先行相）が形成される。そして、変形によって火口底地盤が破壊され、圧力溜まりからの直接的な圧力開放が生じ、大振幅の空気振動（主要相）が形成されると解釈した。

最近の昭和火口の噴火活動は活発化の傾向にあるとはいえ、10~30年前に繰り返された山頂火口の噴火規模に比べれば、その規模はまだ小さく、地球物理観測データを基に噴火過程の詳細を検討する研究例はまだ多くない (井口ら, 2008b; 2009)。例えば、地震波形についてみても、山頂火口の爆発地震とも異なっているが、全体的に複雑な様子を呈している (加藤ら, 2008)。また、その初動は不明瞭であり、島内観測点のすべてで到着時刻を読み取ることができないイベントは少なく、2008年2月の2イベントの震源しか報告がない (為栗ら, 2008)。現段階では、これらの観測データから噴火過程を明らかにすることは難しいものと考えられる。

そこで、本稿では、2009年に入ってから頻発した昭和火口の爆発的な噴火イベントのうち、空気振動波形の明瞭な81イベントを例にとって、空気振動波形・地震波形の特徴抽出を行った。そして、山頂火口噴火の際に観測される波形との相違性を考慮して、昭和火口の噴火過程について簡単な予察を行った。



Fig. 3 Snapshots of the explosive eruption occurred at Showa crater at 20:23 on May 30, 2009, which were captured from the internet streaming video of Kyushu Regional Development Bureau, MLIT. A picture of upper left (a view from Nojiri, southwest of Sakurajima) was unfortunately captured at the different time of the eruption due to a failure of our system. KRDB holds the copyright of these pictures.

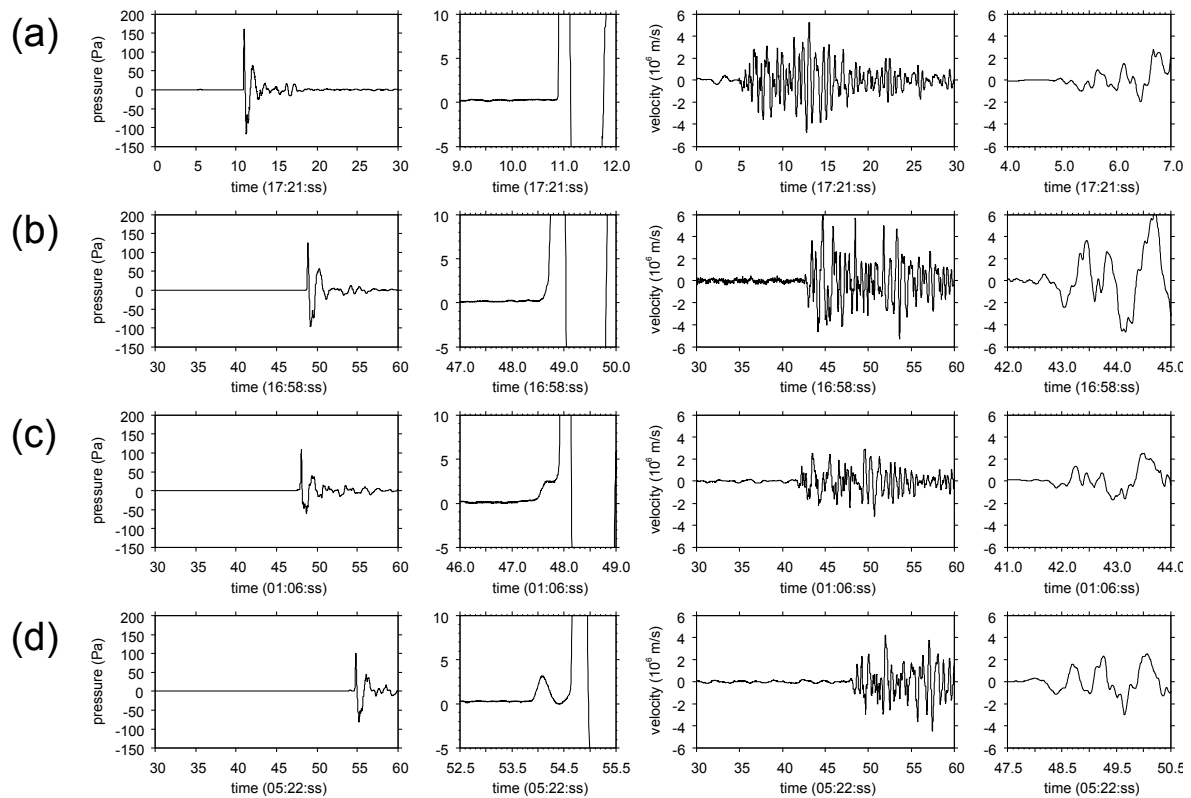


Fig. 4 Infrasound and seismic waveforms observed at ARM (two columns at left-handed side) and HAR (those at right one), respectively; Events at (a) 17:21 on February 3, (b) 16:58 on April 2, (c) 01:06 on March 10, and (d) 05:22 on March 10. Close-up waveforms of each initial part with a fixed time window of 3 s are also displayed.

2. 観測データ

本稿で使用する空気振動・地震波形データは、国土交通省九州地方整備局が管理する空気振動観測点 ARM と、防災研究所附属火山活動研究センターの定常地震観測点である HAR においてそれぞれ観測されたものである (Fig. 1)。ARM では 0.1~1000 Hz に平坦な音圧感度を持つ低周波マイクロホン (アコー, 3348/7144) を、他方、HAR では固有周期 1 秒の地中地震計を使用し、マイクロホンならびに地震計からの信号は、いずれも 24 bit で A/D 変換して 200 Hz のサンプリング周波数で収録した。

なお、空気振動観測点は ARM を含めて桜島島内に 3 点あるが、ARM は昭和火口からの伝播距離が一番短い (伝播距離 2.3 km)。一方、地震観測点 HAR は昭和火口からの水平距離 3.4 km であり、昭和火口から一番近い観測点というわけではない。しかし、2009 年 2~4 月の期間で欠測がなく、また地表設置の地震計よりも S/N がいい記録がとれていたためここで採用した。

3. 空気振動波形・地震波形の特徴

Fig. 4 に、昭和火口の爆発的な噴火活動に伴って発生した空気振動波形、地震波形を示す。

空気振動波形は、おおむね、山頂火口の噴火活動の際に観測されるもの (例えば井口・石原, 1999) に類似する。すなわち、空気振動の先頭部分に微弱で緩慢な圧力上昇で特徴付けられる先行相 (坂井ら, 2001; Yokoo et al., 2008) があり、また、先行相の背後には、急峻で大振幅の主要相が明瞭である。その後は複数回の振動を繰り返し、もとの大気圧に復調する。噴煙放出が勢いよく継続する場合には数~10 Pa 以下程度の振幅の振動が続く。

山頂火口噴火の空気振動波形には、噴火イベントごとに先行相の特徴に大きな相違があるという報告はないが、昭和火口の噴火によるそれは、噴火イベントごとに波形形状が連続的に変化しているように見える (Fig. 4)。ここでは、便宜上、次に示す 3 タイプに分類し、それぞれのタイプの波形特徴を明確化させるため、主要相の到着時刻を合わせて波形スタッキングを行い、平均的な変動を抽出した (Fig. 5)。もちろん、これらで説明できないような複雑な波形が観測される噴火イベントも多数発生してる。

[1] no preceding 型 (11 イベント) : 波形の先頭部分に

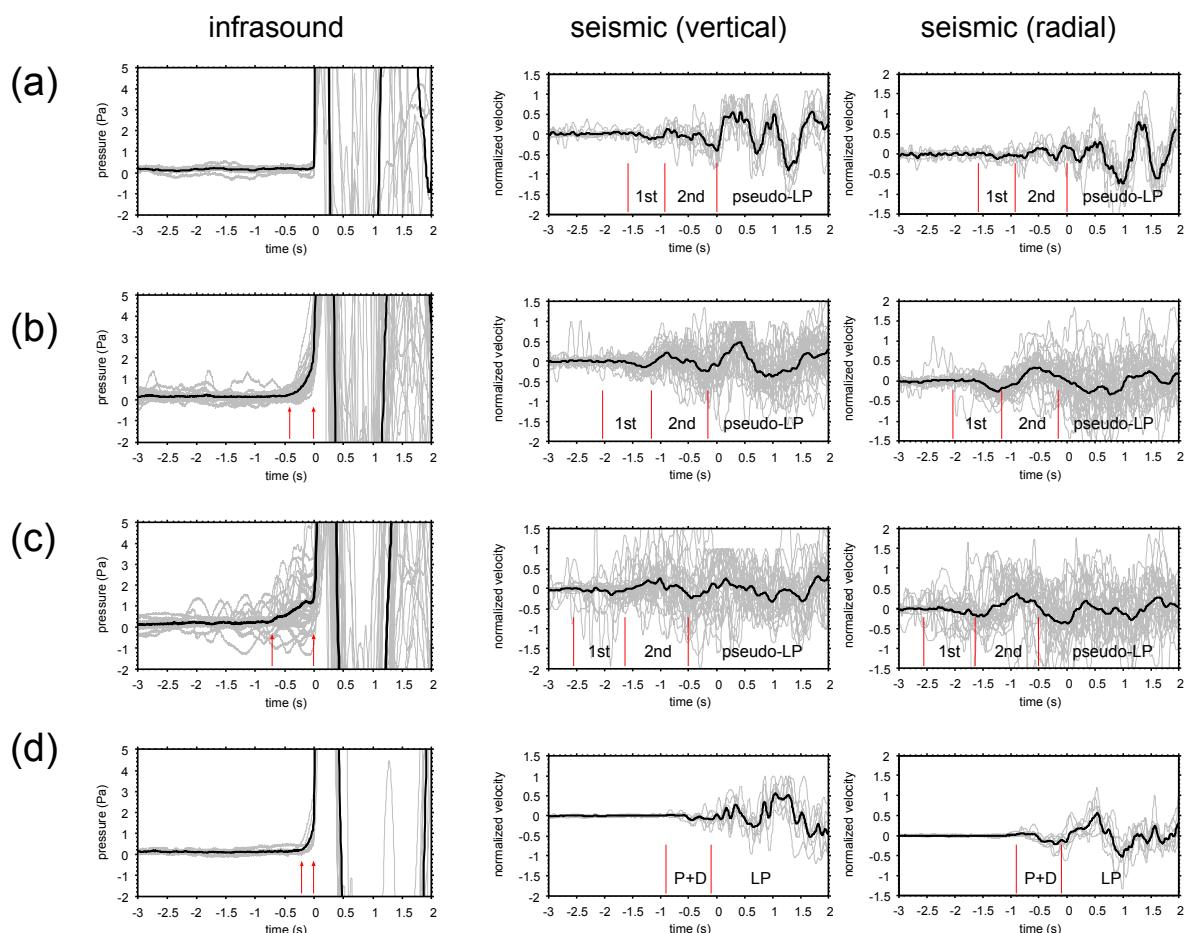


Fig. 5 Stacked waveforms of infrasound and seismic signals (vertical and radial components) drawn by gray lines and their average responses by black lines. Infrasound waveforms were categorized into three types with (a) no preceding (11 events), (b) normal preceding (37 events), and (c) stagnated or pulse-like preceding phases (33 events). Nine events of the recent summit eruptions are also displayed by the same manner in (d).

明瞭な先行相がまったく認められない (Figs. 4a and 5a)。主要相部分の最大振幅は5~174 Paである。

[2] normal preceding型 (37イベント) : 山頂火口の噴火時に観察されるような、緩慢で微弱な圧力上昇で特徴付けられる典型的な先行相を伴う (Figs. 4b and 5b)。最大振幅は6~135 Paである。

[3] stagnated or pulse-like preceding型 (33イベント) : 主要相に前駆した圧力上昇が途中で停滞 (Fig. 4c)、ないしは、その後低下するものがこのタイプに相当する。圧力上昇・低下という変化が極端なときは、主要相から完全に孤立した小さい空気振動パルスとして認識される (Fig. 4d)。孤立パルスのある波形をさらに別のタイプとして区別するのは難しかったため、Fig. 5cは両者を併せて処理している。主要相部の最大振幅は9~108 Paである。

Fig. 5に矢印で示される先行相と主要相の到着時刻の差、すなわち、ARMにおける先行相の継続時間を見ると、空気振動タイプ ([1], [2], [3]) の順に継

続時間が長くなる様子がわかる。しかし、それぞれの噴火イベント別における継続時間と空気振動最大振幅との関係 (Fig. 6) をみると、データは全体的にばらついており、継続時間と振幅の間には明瞭な関係性は認められない。ただし、データ群の上限については負の相関が認められるため、主要相の最大振幅が大きいほどこの発振直後の伝播速度が速く、そのため、伝播過程で先行相が覆い隠される時間が長くなり、結果として観測点での継続時間が短くなることもありそうである。また、空気振動タイプ[2]の継続時間よりも[3]の継続時間の方が長い傾向にあるが、1秒以下の範囲ではほとんどの部分が重なり合っており、明確に孤立パルス状になってしまったものの以外については、継続時間の区別はほとんどない可能性も考えられる。

なお、市販の監視カメラ (SONY SSC-E450; 最低照度0.55ルクス, AGCオン) を使用してKURから撮影した噴火映像中では、噴煙放出開始時の様子など

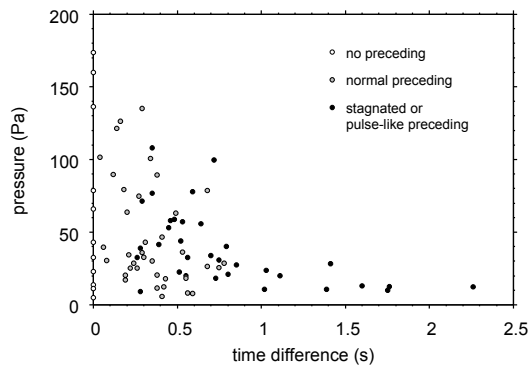


Fig. 6 Relation between time difference of arrival times between a preceding and a main phase of infrasound waves at ARM, and peak amplitudes of a main phase of them.

の表面現象には、これらの空気振動3タイプに直接対応するような共通性は見受けられない。

地震波形についても、Fig. 4を見る限り、先頭部分の2~3秒程度はいずれも類似しているように見え、上に記した空気振動タイプのそれぞれに対応する特徴があるのか判断できない。そこで、HARで観測された地震波形にも、

1. 空気振動先行相および主要相の励起に関係した現象は火口浅部（数100 m深）で発生したものとし、これにより、爆発地震LP相（Tameguri et al., 2002）に相当するレイリー波（擬LP相とよぶ）が放射される。
2. 空気振動の先行相・主要相の伝播速度は大気音速とし、火口からARMまでの伝播に要する時間を6.8秒とする（主要相について、放射直後の衝撃波速度を考慮しない）。他方、地震動の擬LP相がHARまで伝播するのに要した時間を2.3秒とする。
3. 空気振動現象との時間対応性を明確化させるため、擬LP相の上下動最大振幅で規格化してスタッキングする。水平動には、上下動の規格化の倍率をそのまま適用する。

という3つの条件の下に、空気振動波形と同様のスタッキング処理を行った。それにより得られた平均波形をFig. 5に、また、平均波形の振動軌跡をFig. 7に併せて示す。これらの結果から、地震波形の先頭2~3秒間には、次に記す3つの共通した位相があることがわかった。また、各共通位相の継続時間以外に、空気振動のタイプごとの違いが地震波形はやはり現れていなかったものと判断される。

平均波形の初動部は押しで始まり、その後に同程度ないしはやや振幅の大きな引き波が発現する（併せて第1相と呼ぶ；Fig. 5）。第1相の振動軌跡はV-R

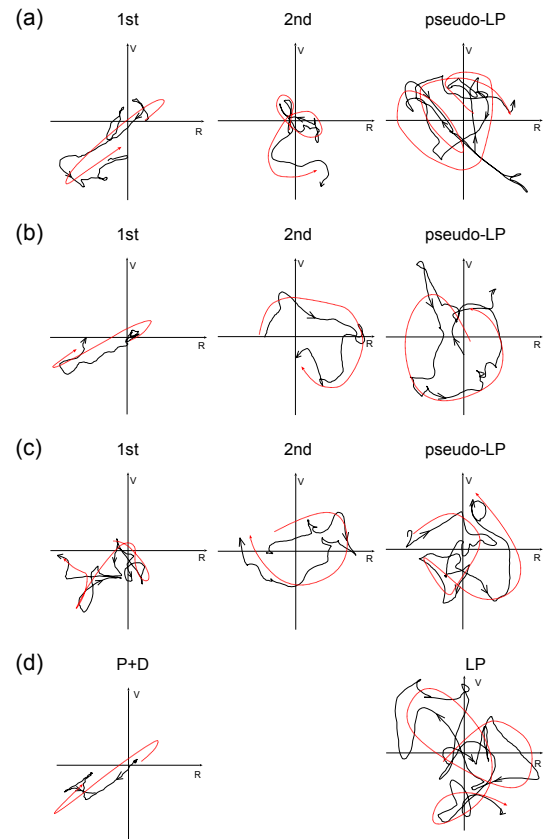


Fig. 7 Particle motions of each phase of the averaging seismic responses in Fig. 5.

平面上において直線的であり、震源から直接到達する実体波（P波）である（Fig. 7）。ただし、[3]の空気振動タイプに相当する平均地震波形では、この特徴は明瞭でない（Fig. 7c）。第1相の継続時間は0.5~0.8秒程度であり、空気振動タイプが[1], [2], [3]となるにつれて長くなるように見える。

その後、さらに振幅の大きな押し・引きの組み合わせで表現される、継続時間1秒程度の変動が見受けられる（第2相；Fig. 5）。第2相の振動軌跡は、少なくとも第1相のような直線的な動きではなく、空気振動タイプ[1]で逆行、[2], [3]のタイプで順行の歪んだ楕円軌道を描く（Fig. 7）。そのため、レイリー波であると考えられる。継続時間は第1相と同様に、[1], [2], [3]の順に長くなる。

3つ目は擬LP相である。上下動の振幅は第1相、第2相に比べて大きい（Fig. 5）。振動軌跡は複雑な様相を呈するが（空気振動タイプ [1]で順行、[2]で逆行、[3]で順行・逆行の順の楕円運動）、少なくとも明確な実体波の特徴は示しておらず、第2相と同様にレイリー波であると考えるのが妥当であろう（Fig. 7）。これはスタッキング処理を行う上で採用した仮定とも矛盾しない。また、空気振動タイプ[1]の記録で明瞭のように（Fig. 5a）、擬LP相の開始時刻は空気振

動の発現時刻とほとんど一致する。そして、タイプ [2], [3] の順に先行相部分の継続時間が長くなるにつれて、擬LP相の開始時刻も徐々に早まっていく傾向が認められる。これらについても、火口底下の膨張開始時刻が空気振動先行相の発振時刻に一致する、という Yokoo et al. (2008) の考え方を支持するものであり、仮定の妥当性を示している。

4. 考察

複数の噴火イベントの空気振動・地震波形をスタッキング処理して特徴的な位相を抽出する、というここで採用した手法の妥当性を検討するために、2006年9月から2007年10月にかけて発生した南岳山頂火口の爆発的噴火7イベントの空気振動・地震波形にも、同様の手法を適用した（ただし、ARMならびにHARまでの空気振動・地震動の伝播に要する時間の差を6.7秒とした）。結果をFigs. 5d and 7dに示す。

空気振動の平均波形には0.3秒程度の継続時間の先行相が明瞭に認められる（Yokoo et al., 2008）。また、昭和火口の噴火による空気振動よりも、主要相部分の圧縮相、膨張相の継続時間がともにやや長いという特徴があった。地震波形には、Tameguri et al. (2002) で示されるP相、D相、LP相と考えられる部分が見出せる。すなわち、初動は押しで始まり（P相）、その後やや振幅の大きな引き波が現れる（D相）。P相とD相を併せた継続時間で約0.8秒である（Fig. 5d）。P相とD相の部分の振動軌跡はV-R平面上で直線的に動いており、P波である特徴を明確に示す（Fig. 7d）。その後大振幅のLP相が発現する。振動軌跡ではレイリー波であることはわかりづらいものの、上下動の変動に対して水平動が半位相遅れている様子は伺える（Fig. 5d）。また、先行相が発現する時間とLP相の発現する時刻はほとんど一致する。この様に、従来の報告例と照らし合わせて特に矛盾のない結果が得られたことを考えると、昭和火口噴火の観測波形に適用した手法に大きな問題はなさそうである。

さて、昭和火口、山頂火口の噴火過程の相違について考えてみよう。両火口の噴火地震波形の初動部はP波であり、V-R平面上で似たような傾きの振動軌跡を呈する（Fig. 7）。これは山体内部の同じような領域に震源があることを示唆しており、2008年2月の昭和火口の爆発的噴火地震の震源（為栗ら, 2008）が山頂火口のそれと変わらないことと調和的である。また、昭和火口の空気振動は先行相の波形特徴から3パターンに分類できるものの（Figs. 4 and 5）、地震波形に見られる大振幅なレイリー波（擬LP相）の発振とほぼ同時に先行相の形成が開始されているため

（Fig. 5）、空気振動現象の励起には、おおむね山頂火口噴火と同様、火口浅部の膨張過程が関係しているものと判断される。つまり、昭和火口噴火の地震波形のうち第1相、擬LP相が、山頂火口噴火の地震波形のP+D相、LP相にそれぞれ対応していると考えられる。一方、昭和火口噴火の地震波形第2相のレイリー波は、山頂火口噴火の地震波形には確認できず、この点が昭和火口の噴火過程を特徴付けている可能性がある。

昭和火口噴火のP波初動の震源領域は、山頂火口の噴火事例のそれと大きくは変わらないということが、振動軌跡からは示唆されたが（Fig. 7）、一方で、昭和火口の地震の初動は不明瞭であり、振幅も小さいという一般的特徴もある。このことは、震源は山頂火口のものよりも山体内のある程度浅い位置にあったことが考えられる。例えば、震源が海水準程度であった場合、昭和火口の噴火地震に現れた第2相は、初動に対応するレイリー波だとして説明できうだろう。しかし、その場合、震源から火口浅部の圧力溜りまでの距離が、山頂火口の事例よりも短くなるにも関わらず、昭和火口噴火では、地震の発生から火口浅部での（空気振動励起に直接関連する）膨張現象開始までに2～3倍程度の時間がかかってしまっている（Fig. 5）。火道内の状況の違いによる圧力波伝播速度の低下なのか、膨張現象の前段階に地震波形に現れないようななにかしらの現象があるのか、いくつかの理由が考えられるが、これらに対して明確な説明をする必要になる。他方、もし、震源位置が海水準よりも深い従来の位置と同等であり、地震波第2相が初動に対応したレイリー波でないとすれば、明瞭な実体波を観測できないような火口浅部で、独立的に発生した現象によるものだと考えることもできる。その場合もやはり、噴火直前に火口浅部に準備されていた圧力溜まりが膨張を開始する（擬LP相が励起される）前に、同じような浅い領域で、これを誘引するなんらかの過程があったことを示唆するのではないだろうか。

いずれにせよ、本稿ではスタッキング処理をした平均振動波形を基に、昭和火口の噴火に伴う空気振動・地震の特徴を検討している。これらの結果については、多点で明瞭な波形が観測される個々の噴火事例について、同様の特徴が見出せるかどうかにかかっている。これを確かめた後、空気振動波形の先行相の特徴や、地震波形の第1相、第2相、ならびに擬LP相の実態についての詳細な検討を行い、昭和火口の噴火過程について解釈していきたい。

5. まとめ

2009年になって、桜島昭和火口では大振幅の空気振動現象を伴う噴火が多発した。昭和火口の噴火過程についての知見を得るために、空気振動、地震の観測波形にスタッキング処理を行い、それぞれの波形の特徴の抽出を試みた。その結果、空気振動波形には幅広いバリエーションの先行相の存在が、また、地震波形には山頂火口の噴火地震には認められない表面波と思われる位相が、それぞれ明らかになった。昭和火口の噴火過程を明らかにするためには、これら両者についての理解が必要であると考えられる。

謝 辞

ここで使用したHARの地震観測データは、その取得と保守に火山活動研究センター職員諸氏の献身的な協力があつた。ARMの空気振動観測結果は国土交通省九州地方整備局のものである。また、同局にはストリーミング映像のキャプチャ画像 (Fig. 3) の使用を許可していただいた。上記の皆様に感謝します。なお、本研究の一部に科研費補助金 (特奨19・126: 代表者 横尾亮彦) を使用した。

参考文献

- 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2009): 桜島の火山活動解説資料 (平成21年3月), 火山活動解説資料 (平成21年3月), pp. 1-12.
- 加藤幸司・山里 平・増田与志郎 (2008): 桜島昭和火口の噴火活動と噴火に伴う地震波形について, 日本火山学会講演予稿集2009年度秋季大会, pp. 130-130.
- 井口正人・石原和弘 (1999): 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—, 京大防災研年報, Vol. 33B, pp. 1-12.
- 井口正人・為栗 健・横尾亮彦 (2008a): 火山活動の経過, 第10回桜島火山の集中総合観測, pp.1-18.
- 井口正人・横尾亮彦・為栗 健 (2008b): 桜島昭和下降に伴う地盤変動の特徴, 日本火山学会講演予稿集2008年度秋季大会, pp. 78-78.
- 井口正人・横尾亮彦・為栗 健 (2009): 桜島昭和火口における爆発直前の火道最上部への圧力集中, 日本地球惑星科学連合2009年大会予稿集 (CD-ROM), V159-032.
- 坂井孝行・中禮正明・吉田明夫 (2001): 桜島火山およびカリムスキー火山の爆発的噴火に伴う空振波形の先行相の存在, 日本火山学会講演予稿集2001年度秋季大会, pp. 16-16.
- 為栗 健・井口正人・山崎友也・高山鐵朗 (2008): 桜島火山における火山性地震観測の強化, 第10回桜島火山の集中総合観測, pp. 19-25.
- 横尾亮彦・為栗 健・井口正人・石原和弘 (2008): 桜島昭和火口2007年噴火の活動推移, 京大防災研年報, Vol. 51B, pp. 267-273.
- Iguchi, M., Yakiwara, H., Tameguri, T., Hendrasto, M. and Hirabayashi, J. (2008): Mechanism of explosive eruption revealed by geophysical observations at the Sakurajima, Suwanosejima and Semeru Volcanoes, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 178, pp. 1-9, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2007.10.010
- Ishihara, K. (1985): Dynamic analysis of volcanic explosion, J. Geodyn., Vol. 3, pp. 327-349.
- Tameguri, T., Iguchi, M. and Ishihara, K. (2002): Mechanism of explosive eruption from moment tensor analysis of explosion earthquakes at Sakurajima Volcano, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 49, pp. 197-215.
- Yokoo, A. and Ishihara, K. (2007): Volcanic activity around Showa crater of Sakurajima Volcano monitored with infrared and video cameras, Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 50C, pp. 149-156.
- Yokoo, A., Tameguri, T. and Iguchi, M. (2008): Swelling of a lava plug associated with a Vulcanian eruption at Sakurajima Volcano, Japan, as revealed by infrasound record: case study of the eruption on January 2, 2007, Bull. Volcanol., doi: 10.1007/s00445-008-0247-5

付 録

Table A1に、本稿で取り扱った昭和火口の噴火イベントの発生日時、ARMにおける空振最大振幅をまとめる。

Table A1 List of eruptions at Showa crater in 2009
analyzed in the present study

type of infrasound	date (mm/dd)	time (hh:mm)	peak amplitude at ARM (Pa)
no preceding (shock)	02/01	09:41	43.0
	02/01	19:57	78.5
	02/02	06:26	136.1
	02/02	11:09	66.1
	02/03	17:21	159.9
	03/08	01:52	32.6
	03/08	05:11	4.9
	04/02	15:04	173.8
	04/03	01:16	13.6
	04/03	09:44	22.9
	04/04	09:41	11.1
	04/04	09:41	11.1
normal	02/01	11:25	25.3
preceding	02/01	18:35	28.6
	02/01	20:22	34.4
	02/02	04:57	39.8
	02/02	14:26	17.0
	02/03	16:32	101.4
	02/04	01:26	20.7
	03/01	07:53	79.2
	03/03	16:01	78.5
	03/08	09:16	46.5
	03/08	09:26	43.0
	03/08	20:13	121.3
	04/02	16:58	126.3
	04/02	17:39	25.0
	04/02	19:11	36.0
	04/02	21:23	5.9
	04/03	08:24	11.4
	04/03	09:01	17.8
	04/03	09:17	8.2
	04/03	09:35	30.4
	04/03	10:09	33.0
	04/03	10:16	7.7
	04/03	11:18	89.7
	04/03	18:37	63.7
	04/03	19:41	26.5
	04/03	19:59	25.6
	04/04	00:47	36.1
	04/04	03:47	135.0
	04/04	05:57	30.0
	04/04	08:37	20.4
	04/04	14:09	100.6
	04/04	15:25	74.4

Table A1 (continued)

type of infrasound	date (mm/dd)	time (hh:mm)	peak amplitude at ARM (Pa)
normal	04/04	16:41	89.5
preceding	04/04	17:23	62.8
	04/04	20:15	18.4
	04/05	07:56	12.4
	04/09	15:31	28.8
stagnated or	02/01	17:17	58.7
pulse-like	02/03	20:49	9.3
preceding	02/04	02:50	22.7
	02/04	07:15	31.1
	03/07	20:10	32.4
	03/08	05:45	39.0
	03/09	00:34	52.9
	03/09	03:23	57.9
	03/09	23:16	43.9
	03/10	01:06	108.2
	03/10	04:23	41.6
	03/10	05:01	20.9
	03/10	05:22	99.5
	03/14	18:55	18.4
	03/14	20:01	9.9
	04/02	03:57	13.1
	04/02	04:49	12.5
	04/02	07:00	19.8
	04/02	17:13	71.3
	04/02	18:32	76.9
	04/03	03:02	19.7
	04/03	06:58	10.8
	04/03	13:23	57.1
	04/03	16:00	32.4
	04/03	20:45	27.6
	04/03	21:40	40.2
	04/03	22:10	23.8
	04/05	03:48	77.9
	04/05	04:47	55.9
	04/05	05:35	33.9
	04/05	12:42	10.7
	04/05	18:27	28.3
	04/05	19:24	12.1

Characteristics of Infrasound and Seismic Signals Associated with Eruptions at Showa Crater of Sakurajima Volcano

Akihiko YOKOO* and Takeshi TAMEGURI

* JSPS Research Fellow

Synopsis

We investigated the characteristics of observed infrasound and seismic records associated with 81 eruptions at Showa crater of Sakurajima volcano that occurred during the period from February 1 to April 9, 2009. From a stacking procedure of infrasound records, three types of the preceding phase were clearly recognized as no preceding type, normal preceding type and stagnated or pulse-like preceding type, prior to the onset of the main impulsive phase. On the other hands, applying same method to seismic records, three characteristic phases could be identified in the initial part; the first one was the P wave which would produced at a deeper portion of the volcano and the third one was the Rayleigh wave as same as the LP phase of explosion earthquake of the summit explosion. However, the second phase of the Rayleigh wave have not been observed at the summit eruptions, which would become a key feature for understanding eruption processes of Showa crater.

Keywords: Sakurajima volcano, Showa crater, infrasound wave, seismogram, stacking, eruption mechanisms