…平成22年度助成研究より…

火山噴火による低周波音

京都大学大学院　理学研究科
附属地球熱学研究施設　火山研究センター
助教　博士（理学）　横尾　亮彦

火山が噴火すると、火口からは大量の火山灰（破砕されたマグマ）と火山ガスの混相体が噴煙として放出される。そのため、大気は激しく揺らされ、低周波音として山体周囲へと伝播する。低周波音は、地中を伝播する地震波とは異なり、空気という比較的単純な媒質中を伝播することから、その過程における元情報の散逸が少なく、火口から遠く離れたところでも低周波音を通じて噴火を観測することが可能である。

噴火による低周波音に関する研究は、1883年のインドネシア・クラカタウ火山噴火によって発生したものが、世界中の微気圧計で偶発的に捉えられたことを契機に開始された。それから約100年を経た1990年代に入ると、イタリア･ストロンボリ火山を中心に、世界中の火山で観測研究が精力的に行われるようになり、噴火の発生機構やダイナミクスなどに言及する研究成果も数多く出てくるなど、火山学の進展に大きく貢献した。しかしながら､たとえば、噴煙のどの部分が低周波音を励起しているのか、などといった本質的な部分にもまだ未解明な点が多く、基礎的なデータ収集の段階からは完全には脱し切れていない。

鹿児島県にある桜島火山の山頂火口で1900年代半ばから始まった噴火活動は、2000年を過ぎた頃から急速に衰えはじめ、2010年現在はほとんど活動をしていない。その一方、山体斜面の一部、1946年に約0.2㎢の溶岩流を流出した昭和火口跡では、2006年６月におよそ60年ぶりとなる噴火を再開した。昭和火口の噴火活動は、何度かの休止期をはさみながらも現在も継続しており、活動度は漸次高まってきている状況にある。2010年の爆発回数は895回にも上り、観測史上最多を更新し続けている（これまでの最多爆発回数は2009年の548回だが、それ以前は山頂火口の1985年の474回であった）。桜島は、現在の日本において、噴火低周波音の観測研究を実施するのに最適なフィールドである。

2007年、2008年に昭和火口から3.5㎞離れた地点で観測された低周波音を図１に示す。これ

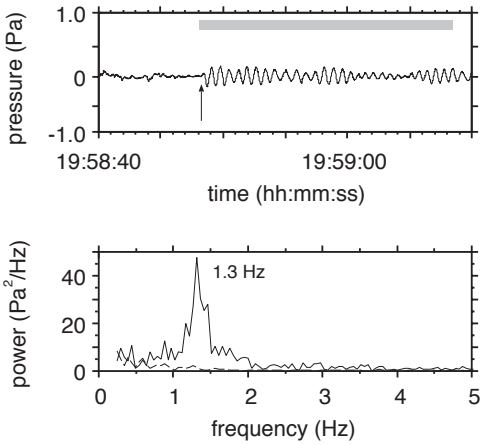

図１　（上）2007年６月15日の噴火による圧力変動。矢印が噴火開始を表す。（下）上図の灰色区間のパワースペクトル。

は火口から微弱な噴火（灰放出）が継続しているときにだけ観測されるものであり、噴火現象によって励起されたと考えるのが自然である。振幅は0.1～１Paオーダーと小さく（例えば同火口での爆発だと200Paを超えることもある）、１Hz近傍だけに明瞭なピークをもつ単調微動である。しかし、より近い距離にある観測点での広帯域地震計による地震記録には、この周波数帯にエネルギーはほとんどない。また、両者のランニングスペクトルを見比べてみても、地震のほうは数分～10分程度の時間経過とともにピーク位置がより高周波側へシフトしていくのに対して、低周波音は変化せずにほぼ一定であり異なる。すなわち、地震と低周波音とはカップリングしておらず、低周波音は、地震波伝播に最適な火山内部、マグマの通り道である火道や火口部ではなく、火口よりも上部の大気側で励起されたものであることが示唆される。

先にも記したが噴煙の運動や噴煙内部構造と観測される低周波音との具体的な関係性についてはまだほとんどわかっていない。工学分野では、数値的に再現された乱流ジェットのうち、渦度の高い領域が周囲大気圧力場の変動波源となっている様子が描かれていたりもする。一方、地球シミュレータを用いた火山噴煙の大規模数値計算結果では、大気側圧力場の変動は、火口直上が波源になっているようにも見受けられる。2010年11月にJournal of Geophysical Research誌に公開された論文の付録映像には、噴煙運動と低周波音波形との興味深い関係が示されていた。火口を出たところでの、噴煙が太ったりやせたりするタイミングが、観測された大気圧力変動の時間変化とまさに同期していたのである。火山噴火観測に従事する立場としては、噴煙のどの位置（高さ）からこのような振動が放射されるのか、また、それは噴煙の運動や構造の何と関係しているのかといった詳細を、実際の現象から明らかにしたいと考えている。

今後の観測方針を検討するための下準備として、2010年夏に桜島で低周波音観測を実施した。噴火活動による噴石や火砕流の発生が予想されることから、桜島では、一般の人々はおろか、研究者といえども火口から２㎞以内は立ち入り禁止である。そのため、低周波マイクロホンの観測点は、火口から距離4.2㎞に位置する気象庁観測施設の一部をお借りすることにした。観測に使用した低周波マイクロホンはDatamark SI100であり、マイクロホンからの出力信号は24bit、200Hzサンプリングでデータロガー（計測技研HKS-9550）に収録した。SI100は塩ビパイプを組み合わせて作成した簡易風防パイプに収めて使用した。データ収録期間は2010年７月８日から８月１日までの約24.5日である。

図２は１分間のRMS振幅値が10Paを超えた時間の平均パワースペクトルである。2010年の

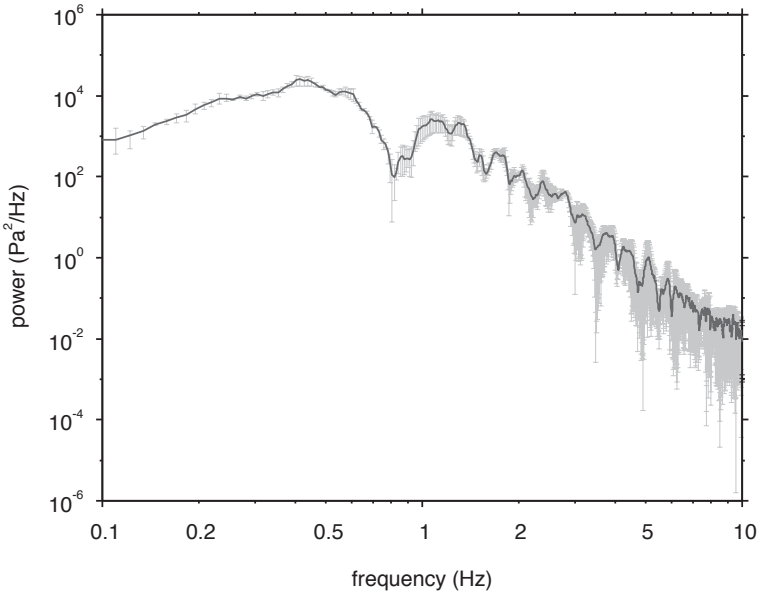

図２　１分間RMS振幅が10Paを超えたときの平均パワースペクトル。
灰色エラーバーは最大値・最小値を表す。

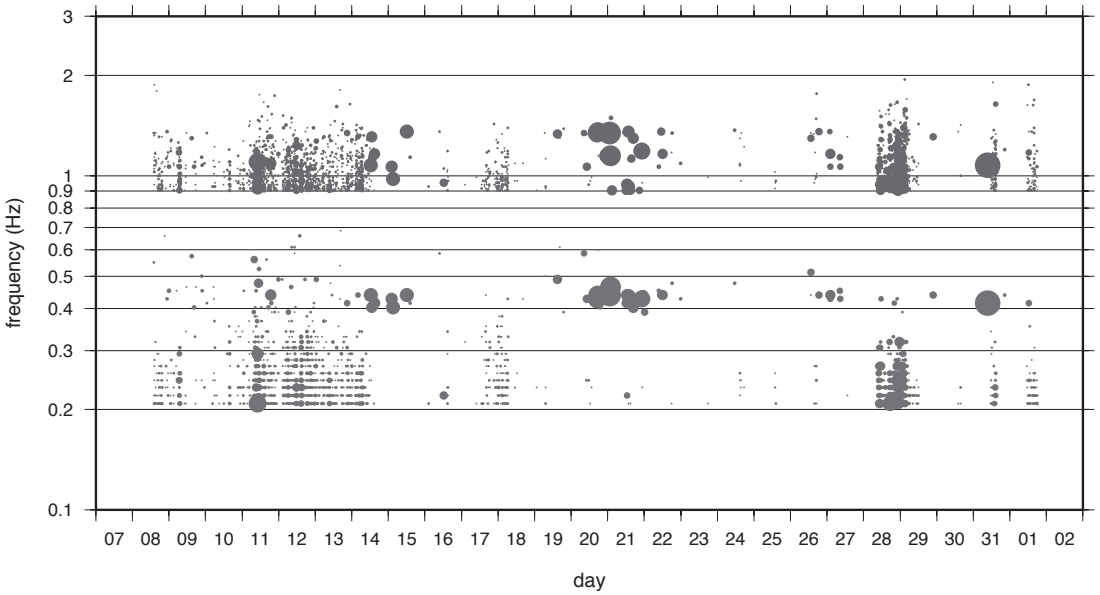

図３　７月８日から８月１日のピーク周波数抽出結果（0.2 ～ 0.8Hz、0.9 ～２Hzの２帯域でそれぞれ計算）。シンボルサイズは毎分のRMS振幅値に比例する（１Pa以上をプロット）。

観測結果は、2007年や2008年のものとは特徴が異なっており、二つの周波数帯（0.2～0.5Hzあたりと0.9～1.5Hzあたり）にピークをもっていた。また、これらの間には明瞭なノッチが存在していた。これらの特徴はRMS振幅が１～10Paの時間のパワースペクトルでもほぼ同様で

2010/07/12 10:26　　2010/07/31 09:26

図４　７月12日10時26分（ピーク周波数は0.31Hz）、７月31日９時26分（0.42Hz）の噴火画像。いずれも国土交通省大隅河川国道事務所の監視カメラによる撮影。

あり、ハワイ・キラウエア火山やエクアドル・ツングラフア火山における観測結果とも似ている。上記の２帯域でのピーク周波数を時系列として表したものが図３である。これをみると、低周波側帯域はさらに二つのサブ帯域（0.2～0.3Hz、0.4～0.5Hz）に分かれそうである。国土交通省大隈河川国道事務所による火山監視画像との比較を行った結果、0.2～0.3Hzにピークが来るときの噴煙は、その外形がはっきりしないタイプのものであり、0.4～0.5Hzのものは、比較的まともな噴煙である傾向が認められた（図４）。

今後、火口に向かってのラインアレイ観測と噴煙表面の陰影に対するPIV解析を併せて実施し、(1)噴煙放出過程における微動型低周波音の各周波数帯域の発振源を明らかにするとともに、(2)発振源における噴煙運動の特徴を抽出し、(3)両者の定量的な関係性、低周波音の放射過程についてを検討する予定である。

気象庁、気象研究所には観測場所、観測機器をご提供いただくなど、種々の便宜を図っていただいた。気象研究所・新堀敏基氏、鹿児島地方気象台・加藤幸司氏にはマイクロホン設置にご協力いただいた。サウンド技術振興財団には諸経費を負担していただいた。以上の方々に記して感謝します。