

有珠山の空振活動に伴って現れる地震波の特徴

青山 裕・大島弘光・前川徳光(北大・理・地震火山センター)

Seismic signals associated with the volcano acoustic activity at Mt. Usu

H.Aoyama, H.Oshima and T.Maekawa (UVO-ISV, Hokkaido Univ.)

1. はじめに

2000年の有珠山噴火では、広範囲にわたって地殻が隆起し、おびただしい数の火口が出現したが、1977年から始まった前回の噴火とは異なり、火山の活動度を表す目安となる地震活動や地殻変動は活動開始から1ヶ月ほどの間に急激に収束に向かった。この期間に、西麓および北西麓に開いた火口では、上空3000mまで噴煙をあげる噴火、噴水のようにジェットを吹き上げる噴火、地の経過と共に様々なタイプの噴火が見られた。特に、地表面近傍で泥塊が飛び散る炸裂タイプの噴火は地震活動や地殻変動が収束した後も継続し、北西麓の金比羅山火口では11月頃まで見ることができた(図1)。



図1 金比羅山火口(A火口)で10月に撮影された炸裂タイプの爆発。

このようにバラエティーに富んだ噴火様式が見られた2000年の有珠山噴火に際して、北大・理・地震火山研究観測センター(火山活動研究分野)では、有珠山周辺の定常地震観測点に低周波マイクロフォンを併設し、地震動のデータと共に空気振動のデータの収集を行った。本研究集会では、有珠山の2000年噴火で観測された表面活動、空振活動、およびそれに伴うと考えられる地震動について報告を行う。

2. 空振活動

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター(有珠火山観測所)では、0.1Hz~1000Hzで平坦な音圧感度を持つ(株)アコー製の超低周波マイクロフォンと音圧計測増幅器(TYPE7144/3348)を有珠山周辺の6点に設置した(うち1点は2000年4月14日から)。空振信号は固有周期1秒の短周期地震計(Mark Products L4-3D)で得られた信号と共に白山工業(株)製のLT8500(22bitA/D)もしくはLS8000SH(16bitA/D)を用いて100Hzサンプリングのwin形式に変換され、専用回線を経由して有珠火山観測所へ伝送された。

低周波マイクロフォンには、特に炸裂タイプの噴火に伴って発生するパルス状の空振が多数とらえられた。図2にはパルス状の空振が発生していた時間帯の空振波形例と、空振の自動検知に用いたフィルター波形およびその結果を示す。2000年4月~6月の3ヶ月間の三豊観測点における空振データから自動検知されたパルス状空振の個数は146万2500回にのぼった。

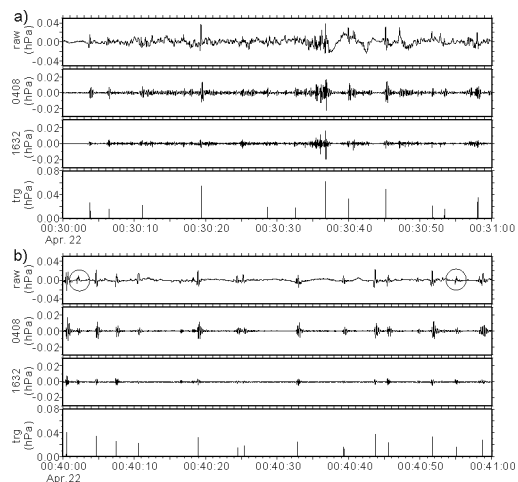


図2 空振の生波形(raw)、4~8Hzのバンドパスフィルターを施した波形(0408)、16~32Hzのバンドパスフィルターを施した波形(1632)、それらを用いて

自動検知された空振の発生時刻および振幅(trg)。

a) 2000年4月22日0時30分からの1分間、b) 同日の0時40分からの1分間。○印の2つを除いてパルス状の空振を検知している。

3. パルス状空振の音源および震源位置

以上のように大量に発生したパルス状の空振は、複数の観測点で到達が確認された。同一の爆発によって励起されたと見なされるパルス状の空振を抜き出してその到達時刻を手動で読みとり、4月8日~25日のデータについて空振の音源決定を行った。大気中の音波速度は340m/secの一様とし、音源を地表面に固定して最小二乗法により水平方向の音源位置を求めている(図3)。音速が遅いため、1km程度しか離れていない両火山口での活動を明瞭に区別することができる。4月中は両火山口でパルス状空振が発生していたことが分かる。

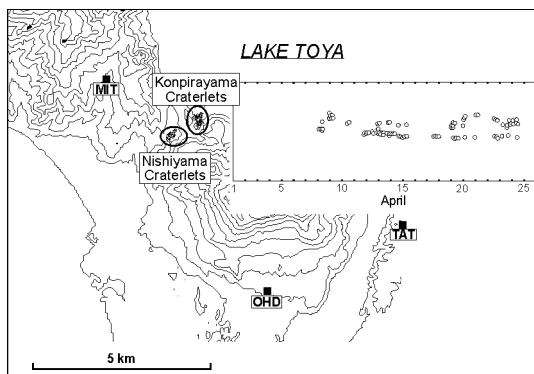


図3 西山火山口群および金比羅山火山口群の位置に重なるように求めた空振の音源分布。

これらのパルス状空振の1つに注目して、空振の発生時刻を時間の原点としたペースアップを描いたのが図4である。これは2000年6月6日1時1分16.2秒に発生したパルス状空振で、各観測点への到達時刻は音速340m/secの直線に良く一致する。下図は同時刻の地動のペースアップで、2Hz以下のバンドパスフィルターを施した地動速度波形と生の波形を描いた。ここでは2.0km/sec、1.04km/sec、0.34km/secで伝播する信号の予想到着時刻が実線で描いてある。0.34km/secの信号の予想到着時刻付近ではパルス状の地動が励起されていることが分かる。こ

のパルス状の信号は、空気中を伝播してきた圧力波によって励起された地動であると考えられる。しかしながら地動波形を見ると、明らかに空振の信号よりも先に比較的長周期の波が到達していることが分かる。実線で示した信号の予想到着時刻のうち、 $V_p=2.0\text{km/sec}$ は各観測点への地震波の初動到達時刻から推定したP波の見かけ速度であるが、 2.0km/sec に対応する実線は距離0kmのところから空振の発振時刻とよく一致する。このことは、パルス状空振に先行して現れる長周期の地動が空振とほぼ同時刻に音源と同じ位置で励起されていることを示唆している。

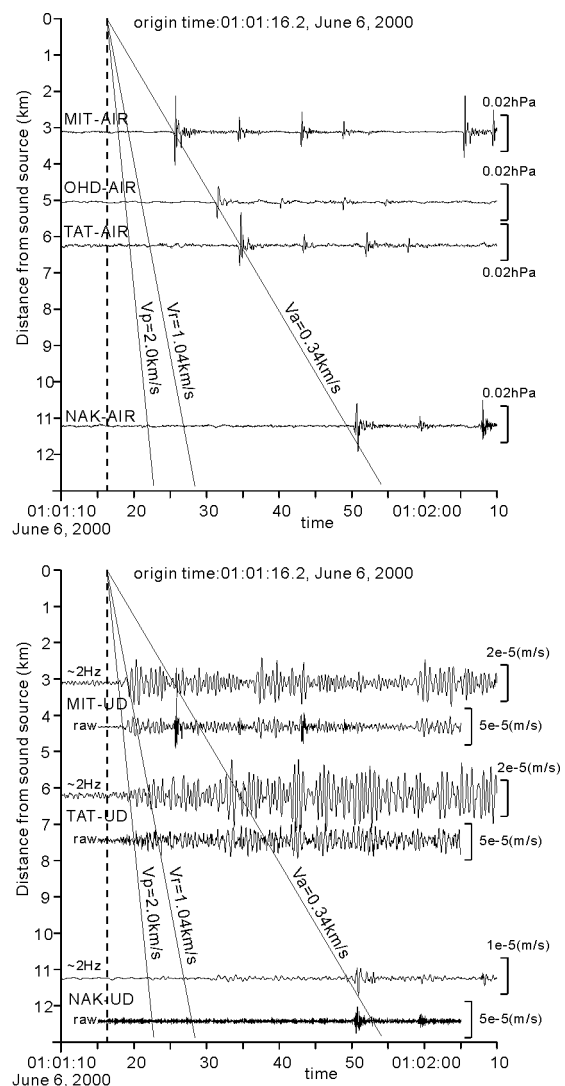


図4 上)三豊(MIT)、大平(OHD)、立香(TAT)、仲洞爺(NAK)における空振記録。破線は音源決定によって推定されたパルス状空振の発振時刻。下)同時刻の三豊、立香、仲洞爺における地動速度波形。大平の地動はS/Nが悪いため示していない。

P波速度(V_p)が2.0km/sec、P波とS波の速度比(V_p/V_s)が1.73である半無限媒質を仮定したときのレイリー波速度(V_r)が1.04km/secである。三豊ではレイリー波の到着予想時刻前後から、2Hz程度の低周波で大振幅の信号が現れていることが分かる。あまり明瞭ではないが、立香でも同様に地動速度波形の振幅が大きくなっている。しかしながら仲洞爺ではこの波の到着を見ることができない。

4. パルス状空振に伴う地震動

次に同じパルス状空振について、三豊の空振および地動の記録を拡大する。図5aは空振、地動速度3成分、地動変位3成分で、図5bは地動変位の粒子軌跡である。粒子軌跡は変位波形に破線で示した2つの時間領域内について描いており、左から順に上下-南北断面、上下-東西断面、東西-南北平面を示す。三豊から見て音源となる金比羅山火口群の方向はおよそ東南東であり、図5b-1の平面図にその方向を矢印で示した。また変位波形のUD成分には、 $V_r=1.04\text{km/sec}$ と仮定したときの到着時刻を“Sr”として示した。

パルス状の空振は1時1分25.5秒頃三豊観測点に到達し、地動にもほぼ同時刻に高周波信号が現れている。しかし地動にはパルス状空振の到着前からおよそ2Hz前後の信号が現れ、特にNS成分に比べてUD成分とEW成分の信号が早く現れている。これはNS成分が火口からみてほぼtransverse成分に相当するためと考えられる。伝播方向の粒子軌跡を見るために図5b-1の上下-東西断面に注目すると、 $V_r=1.04\text{km/sec}$ で予想される到着時間(1時1分19.2秒)には地動変位はprograde的な振動をしていることが分かる。しかし、図5中に“Or”で示した1時1分19.7秒頃からはレイリー波の到来を示すretrograde的な大きな楕円型軌跡を描く。音源からの距離が約3kmと比較的近い三豊でこのように大きな振幅のレイリー波が現れるということは、地震の震源が浅いということを示唆している。その後の粒子軌跡(図5b-2)では軌跡は安定せず、水平面内では北西南東方向(transverse方向)へ大きく振動したり円を描いたりするような軌跡を

示している。三豊で確認されたレイリー波と考えられる波が図4下段の立香や仲洞爺で明瞭に見えなかったのは、観測点が火口から見て有珠山の裏側にあたるため(立香)や、伝播経路の途中に洞爺湖が存在するため(仲洞爺)であろう。

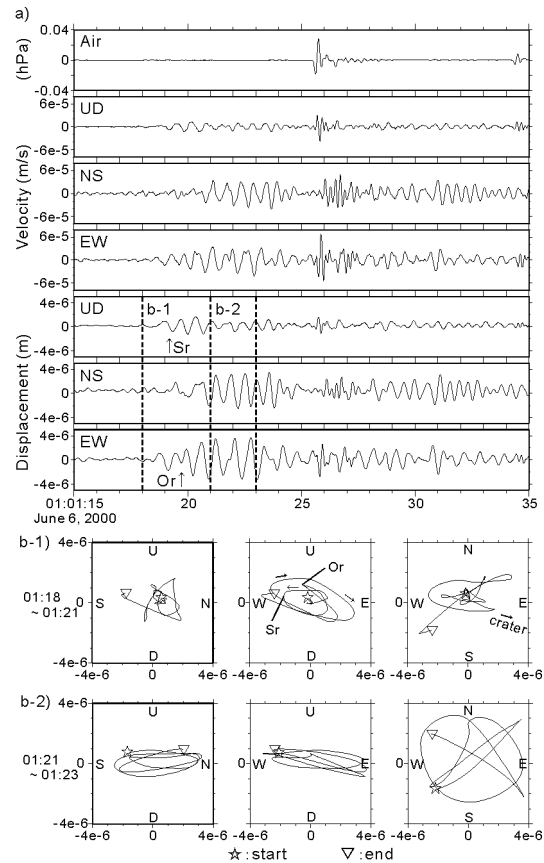


図5 a) 三豊における空振、地動速度、地動変位波形。b) 地動変位波形の波線で囲んだ時間領域における粒子軌跡。図中の“Sr”、“Or”はそれぞれ $V_p=2.0\text{km/sec}$ から予想されるレイリー波の到達時刻と、実際にretrogradeの波が到達した時刻を示す。

5. 噴火やジェットに伴う空振および地震動

有珠山の2000年の噴火では、3月31日13時8分頃に西山の西麓で最初の噴煙柱があがった。この噴煙柱は高度約3000mに達し、北東方向へ多量の火砕物を降下させた。しかしながら、この噴煙柱が立ちのぼり始めた時刻には、我々が設置していた低周波マイクロフォンに信号と思われるデータはとらえられていない。また地震データについても同様に、火口からのおよそ3kmの距離

にある三豊観測点でも噴煙柱が立ちのぼり始めた時刻に明瞭な信号は見られない。しかしながら、15時台になると火口活動に対応すると考えられる規則的なノコギリ状信号が空振記録に現れ始めた。対応する時刻の地動記録にはノコギリ状の信号が見えないため、この信号は地表面から離れた上空で励起されていたのかもしれない。

また、4月上旬にはコックステール状の物質の噴出を起こすジェット型の噴火が盛んに発生した。しかしながら、ジェット型の噴火が頻発した時期の空振および地動の振幅は、その後の炸裂タイプの空振が発生した時期に比べて小さく、個々のジェット型の噴火に対応するような明瞭な信号は見ることができなかった。

これら噴煙柱をあげる噴火やジェット型の噴火が発生していた期間のデータについては、これから詳しく検討を行う予定であり、本集会では記録例を示すにとどめる。

6. まとめと課題

ここではパルス状空振の到来に前だってレイリー波的な波の到達が見られることが確認された。この波が1回の炸裂タイプの爆発に伴うと考えた場合、震源における爆発の時間関数は比較的単純なパルスから成ると推測される。しかしながら、実際に観測された地震波の粒子軌跡は複雑な挙動を示す。震源時間関数が単純であると考えられるにもかかわらず波形が複雑になる理由の1つは地下構造の不均質性であろう。加えてもう1つ重要であろうと考えられるのは空振自身による地動の励起である。図4や図5で示したようにパルス状空振自身が地動を励起していることは明白である。パルス状空振は周囲に伝播する過程で連続的に地動の励起をしていると考えられる。地表面を移動する力源によって励起される地震波が持つ特性を明らかにしておくことは、表面現象を伴う爆発地震の研究を進めていく上で重要なテーマの1つであろう。