

2004年浅間山噴火に先行する特異な長周期地震活動

山本眞紀*・武尾 実*・大湊隆雄*・及川 純*・青木陽介*・植田寛子*・
中村 祥*・辻 浩*・小山悦郎*・長田 昇*・卜部 卓*

(2005年4月13日受付, 2005年8月31日受理)

A Unique Earthquake Activity Preceding the Eruption at Asama Volcano in 2004

Maki YAMAMOTO*, Minoru TAKEO*, Takao OHMINATO*, Jun OIKAWA*, Yosuke AOKI*, Hiroko UEDA*,
Sho NAKAMULA*, Hiroshi TSUJI*, Etsuro KOYAMA*, Noboru OSADA* and Taku URABE*

On September 1, 2004, a middle-scale eruption occurred at Mt. Asama. Before the eruption, long-period volcanic earthquakes were observed with the broadband seismographs located at the summit of Mt. Asama since October 17, 2003. The signals are so feeble that we can hardly recognize them even at the second nearest station from the summit crater. The long-period earthquakes had been occurring at least before September 5, 2002. The earthquakes have very unique waveforms and can be categorized in 3 types (type 1, type 2, type 3). The sources of these long-period events are located relatively shallow at a depth of a few hundreds meters, just beneath the crater. The depth of the type 1 event is just beneath the vent, the types 2 and 3 being 100~200 meters deep. The activity of these long-period events had been synchronized with the activity of volcanic earthquakes until the last ten days of July 2004. However, the activity had dropped gradually, and no event has been observed since August 24, 2004, just 8 days before the eruption. An earthquake swarm started on August 31, lasting just before the eruption. The hypocenters of swarm, which are determined using the Double Difference method, lie just beneath the vent ranging from 300 m to 800 m deep, suggesting that the shallowest part of the vent is broken during the swarm activity.

Key words: Asama volcano, long-period earthquake, broadband seismogram

1. はじめに

浅間山はわが国有数の活火山で、黒斑火山、仏岩火山、前掛火山からなる複成火山であり、現在活動中の前掛火山は約1万年前に形成された(例えば、高橋, 1997)。過去100年間の活動に注目すると、1900年頃から噴火活動が活発化し頻繁にブルカノ式噴火が発生していたが、1961年の噴火を最後に11年間の静穏期に入った(例えば、宮崎, 2003)。その後、1973年と1982年~1983年に中規模噴火があり、最近の活動としては、2000年に火口底の温度変化が認められ、その後地震活動も徐々に活発化しつつあったが、2004年9月1日午後8時に21年ぶりの中規模噴火が発生した。

この噴火の前、2003年秋から山頂火口近傍での広帯域地震計による定常観測が開始され、この地震計によって特異な波形を持った長周期地震が観測された。これらの地震波形は、通常の地震の規模-卓越周期の関係とは大きく異なる様相を示し、マグニチュードが1にも満たない小さな振動であるにもかかわらず、卓越周期は2~3秒から10秒と非常に長くなっており、断層運動とは異なる震源過程が示唆される。また、これらの特異な長周期地震は9月1日の噴火より前に活発に活動しており、噴火に至るプロセスを考察する上で重要な現象と思われる。本研究では、この特異な長周期地震の特徴を整理し、その活動度と震源分布を調べた。さらに、この噴火のおよそ29時間前から活発化した群発地震活動の震源分布を詳細に決定し、浅間山における噴火に至るプロセスを考察・推論した。

* 〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1
東京大学地震研究所
Earthquake Research Institute, University of Tokyo,
Yayoi 1-1-1, Bunkyo Tokyo 113-0032, Japan.

2. 2004年浅間山噴火活動

2004年9月1日の中規模噴火に先駆けて、浅間山周辺

では国土地理院及び地震研究所による GPS 連続観測が行われ、7月下旬に山体深部へのマグマの貫入を示唆する地殻変動が観測された(例えば、青木・他, 2005; 村上・他, 2005)。浅間山東側山腹の三の鳥居観測点(SAN)で観測される地震の数は8月31日15時から急増、9月1日噴火時までには600個以上発生し、最初の噴火に至った。最初の噴火後、9月14日から18日にかけて1000回以上にわたり小規模な噴火が断続的に発生し、火山灰は山頂から130km離れた東京に及んだ(気象庁, 2004)。その後の活動は、いくつかの小規模噴火に加え、9月23日, 29日, 10月10日に中規模噴火が発生した後、一度終息したように思われた。しかし、およそ一か月後の11月14日に比較的大きな中規模噴火が発生している。その後2005年7月1日現在まで、噴火は認められていない。

3. 観測網及びデータ

浅間山における定常地震観測網は、主に固有周期1秒の短周期地震計で構成されていたが、2003年10月17日に山頂の火口西端(KAC2)に、翌年7月22日には同東端(KAH2)に広帯域地震計が設置され、これまでの短周期計のみによる観測では得られなかった様々な情報が手に入るようになった。設置された地震計はグラルブ社製のCMG-3T 360秒計である。最初の噴火があった2004年9月1日時点で移動中だった観測点をFig. 1に示す。山頂火口の2観測点の次に山頂に近い前掛観測点(MAE; 火口から1.3km南東)には短周期地震計が設置されていたが、2004年5月26日からは広帯域地震計も設置されている。さらに、本研究では東京大学地震研究所が所有する観測点に加え、気象庁の観測点(ASMB, ASMD, ASME, ASMG)の記録も解析に使用した。

山頂火口近傍に設置した広帯域地震計は、2003年10月の設置以降、特異な長周期振動を記録していた。これらの振動は微弱で火口近傍の観測点(KAC2, KAH2)以外では記録されないものがほとんどである。8月26日から山頂の西方及び東方に地震計アレイを設置して観測を開始したが、噴火によって多くのアレイ観測点が破壊され、被災を免れたものは4点のみであった。このうち、東側アレイの2点(E07, E09)を、噴火直前の群発地震活動の震源決定に用いた。

4. 特異な長周期地震

Fig. 2にKAC2に設置された広帯域地震計の2004年6月11日午前のモニター記録を示す。図中に矢印で示したように、特異な長周期の振動を確認することが出来る。この地震計とほぼ同じ場所に設置された短周期計の

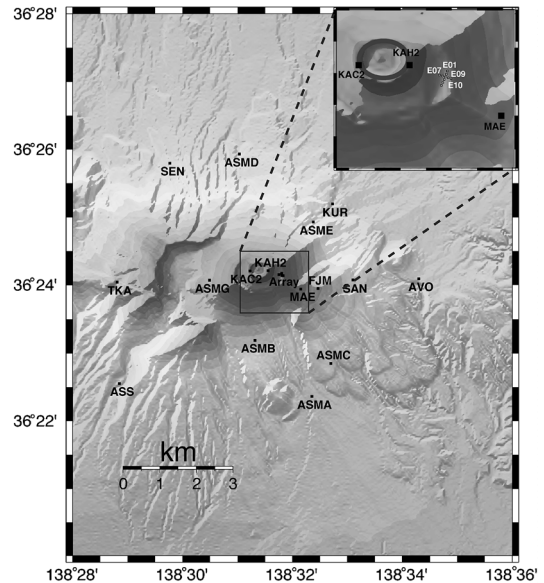


Fig. 1. A seismic network around Mt. Asama, Japan. Stations coded with 3 characters, KAC2, and KAH2 are operated by ERI (Earthquake Research Institute) and 4 characters (except KAC2 and KAH2) by JMA (Japan Meteorological Agency). A seismic array shown in the upper small panel was installed at the east of the summit on August 25 and 26, 2004, just 5 days before the eruption on September 1, 2004. Only four of these stations survived the disaster. The gray circle in the upper panel indicates the rim of the summit crater of Mt. Asama.

記録に周波数特性の補正を施して比較した結果、同様な長周期の振動が記録されていることが確認できた。さらに、KAH2に2004年7月に設置された広帯域地震計によっても同様の波形が確認できた(Fig. 3参照)。これらの事実は、記録された特異な長周期振動が地震計のトラブル等によるものではなく、真の地動であることを示している。これらの地震のうちでも規模の大きなものは、火口から1.3km離れたMAEでも波形を確認できるが、多くの場合この長周期成分は火口近傍の2観測点以外では記録されておらず、震源は火口ごく近傍であると推測される。

上で述べた特異な長周期地震は、主に典型的な3つの種類に分類される。

タイプ1 (パルス型)

パルス型の波形を持つ地震で典型的なパルス継続時間は3-4秒である。さらに、高周波の波が重畳しているものが多い。今回調べた噴火前の期間(2002年9月~2004

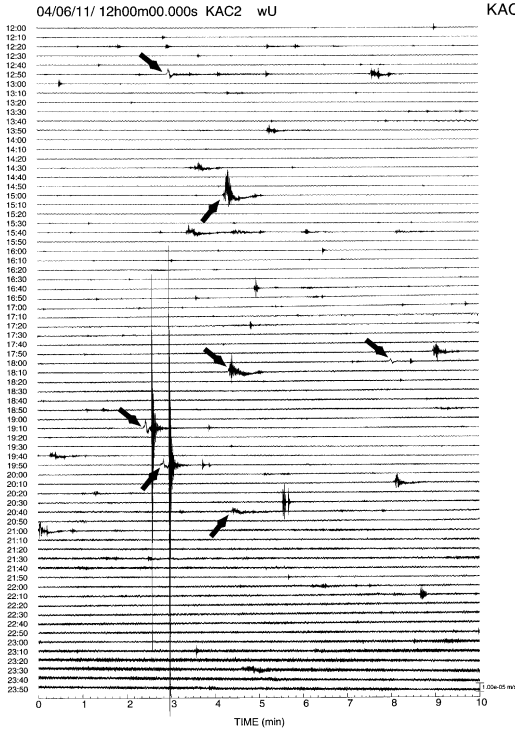


Fig. 2. The monitoring record at KAC2 over half a day (11 June, 2004). We can recognize clearly some unique long-period events pointed by arrows.

年8月)については殆ど恒常的に発生しており、3つの種類の中では最も観測数が多い。典型的な波形例をFig. 3に示す。6月11日の地震記録では、生データと1Hzのローパスフィルターをかけた波形、及び地動変位に直した波形を示してある。高周波成分を除くと、パルス型の長周期振動が明瞭に確認できる。8月5日の記録では、1HzのローパスフィルターをかけたKAC2とKAH2の火口東西の観測点記録を示してある。両観測点で相似な地震波形が記録されているが、KAC2の振幅がKAH2に比べ約2倍となっている。この地震の長周期成分の振幅特性を調べるため、2004年8月に発生したこのタイプの地震について、KAC2とKAH2で記録された波形に1Hzのローパスフィルターを施して比較した。その結果、KAC2の方がKAH2よりも系統的に大きく1倍から3倍の振幅を持つことが明らかになった。これは震源がより西側の観測点に近いところに位置している可能性や、震源での地震波の励起が非等方的であることの可能性等を示唆する。一方、初動の方向は常に、山頂の2観測点(KAC2, KAH2)、MAEとも火口付近を中心に外側に押

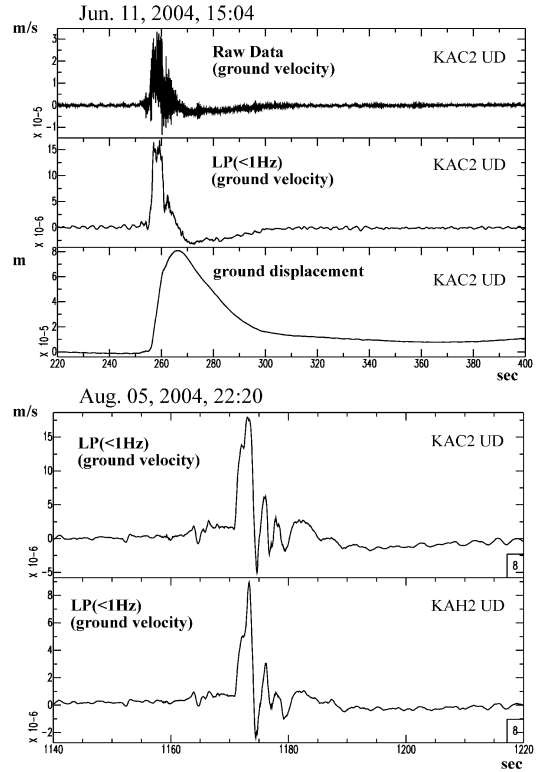


Fig. 3. Waveform examples of type 1 event occurred on June 11, 2004. The vertical ground velocity recorded at KAC2 is shown in the top panel. The second trace is a low-pass filtered ground velocity with a cut-off frequency of 1.0 Hz. The third trace is a ground displacement. In the lower panel, we compare the long-period waveforms of type 1 event recorded at KAC2 and KAH2; a low-pass filter with a cut-off frequency of 1.0 Hz is worked on these records.

し出す向きになっており、震源メカニズムとして火道浅部での膨張が示唆される。

タイプ2 (長周期減衰型)

減衰と共に周期が短くなるような長周期の波に、短周期の比較的大きなイベントが追隨している。Fig. 2のモニター記録中で19時11分及び19時52分付近に見られる大きな短周期地震を伴った長周期振動が、典型的な波形である。長周期成分を見やすくするため、振幅を拡大した波形例をFig. 4に示す。このタイプの地震は主に2004年の6月から7月にかけて観測されており、全体の継続時間は30~100秒である。殆どのイベントはさらにもうひとつの短周期のイベントを伴っており、2つ目のイベントまでの間隔はおおよそ40~100秒である。また、

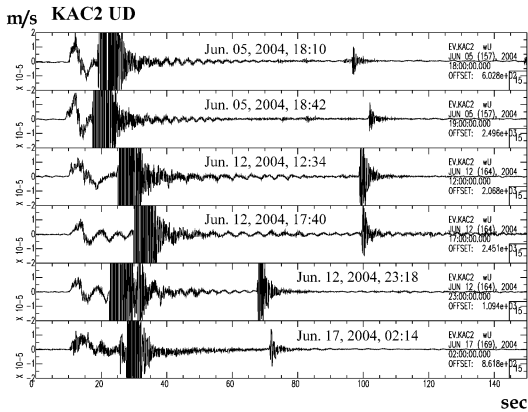


Fig. 4. Macrograph of seismograms of type 2 events. We can confirm long-period waveforms in these seismograms clearly.

長周期の波の初動付近の典型的な周期は5~10秒で、その波形は環の上半分もしくは上に凸の放物線のような形状をしている。時間と共に周期が短くなっていく様子は、ゴムまりが硬い床の上を跳ねながら移動していくときの軌跡に類似している。タイプ2の亜種として短周期のイベントを伴わないようなイベントも観測された。

タイプ3 (微動型)

継続時間が100秒から300秒と長く、単一でない周波数を持つ微動でその波形は先のものがった形状をしており、長周期成分のピークの直後に短周期成分が重畳しているものもある。波形の例をFig. 5に示す。このタイプは、主に2004年の3月から7月にかけて観測され、その卓越周期の変化の様子はイベントごとに異なる。例えば、Fig. 5に示した微動では、最初(Fig. 5の1480秒付近)は4秒の波が卓越しているが、徐々にその周期が長くなり約100秒後(Fig. 5の1580秒付近)には10秒を超える卓越周期になっている。

震源の推定

前に述べたように、これらの地震の多くは火口近傍の2観測点以外ではノイズレベルより小さい振幅で記録を確認できず、震源は火口ごく近傍であると推測される。さらに、S波の到達時刻を読み取ることも困難であり、通常の震源決定方法で震源を決めることは出来ない。そこで、ここではパーティクルモーションから、その震源位置の推定を試みる。これらの地震には1 Hz以上の高周波の波も重畳しているが、我々は1 Hz以下の長周期成分に注目して、その波の到来方向から長周期地震波の波源位置の推定を試みた。ここで注目する波の特徴的な周期は数秒程度であるから、波長は数kmから10km程度あり、火口付近の地形や局所的な構造の影響は受けに

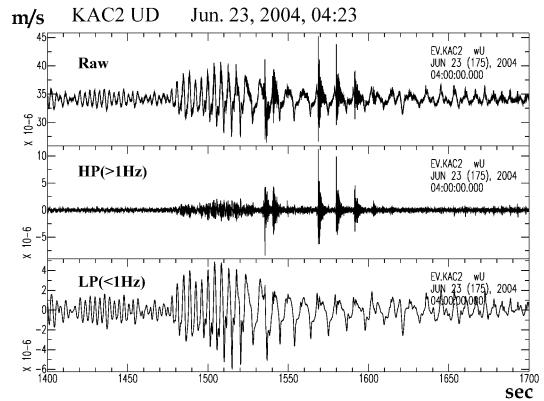


Fig. 5. Waveform examples of type 3 event occurred on June 23, 2004. A vertical ground velocity recorded at KAC2 is shown in the top panel. The second trace is a high-pass filtered ground velocity with a cut-off frequency of 1 Hz. A low-pass filter with a cut-off frequency of 1.0 Hz is worked on the third trace.

くいものと考えられる。タイプ1及びタイプ2の地震についてはカットオフ周波数1 Hzおよびカットオフ周波数0.3 Hzのローパスフィルターをかけた長周期成分の初動の5秒分のパーティクルモーションをFig. 6a及びFig. 6bに、タイプ3の地震については同様のフィルターを主要動の10秒間にかけてパーティクルモーションをFig. 6cに示す。それぞれの図では、水平および鉛直断面にパーティクルモーションを描いてある。なお、カットオフ周波数1 Hzのローパスフィルターをかけたパーティクルモーションは破線で、カットオフ周波数0.3 Hzのローパスフィルターをかけたパーティクルモーションは実線で示してある。主要動部分で卓越する波がS波的な振動をしていると考えると、これらの地震は山体から南に離れた場所もしくは空中に震動源がないと説明できない。しかし、山腹の観測点でこれらの地震は記録されておらず、山体から南に離れた場所に震動源があるとは考えにくい。そこで、地震波の主要動部分はP波的な振動をしていると仮定して、その波動源の位置を推定した。なお、1 Hzのローパスフィルターをかけた波形でも短周期成分が残っているためパーティクルモーションが乱れており、到来方向の推定に若干の任意性があるので、ここでは0.3 Hzのローパスフィルターをかけたパーティクルモーションからその到来方向を推定している。その結果タイプ1の地震は、火口底付近の位置に推定された。放射鉛直平面上の初動は、山頂2点およびMAEの三点全てで火道から押し出す方向を向いていることも確認できる(Fig. 6a)。タイプ1の地震でMAEの

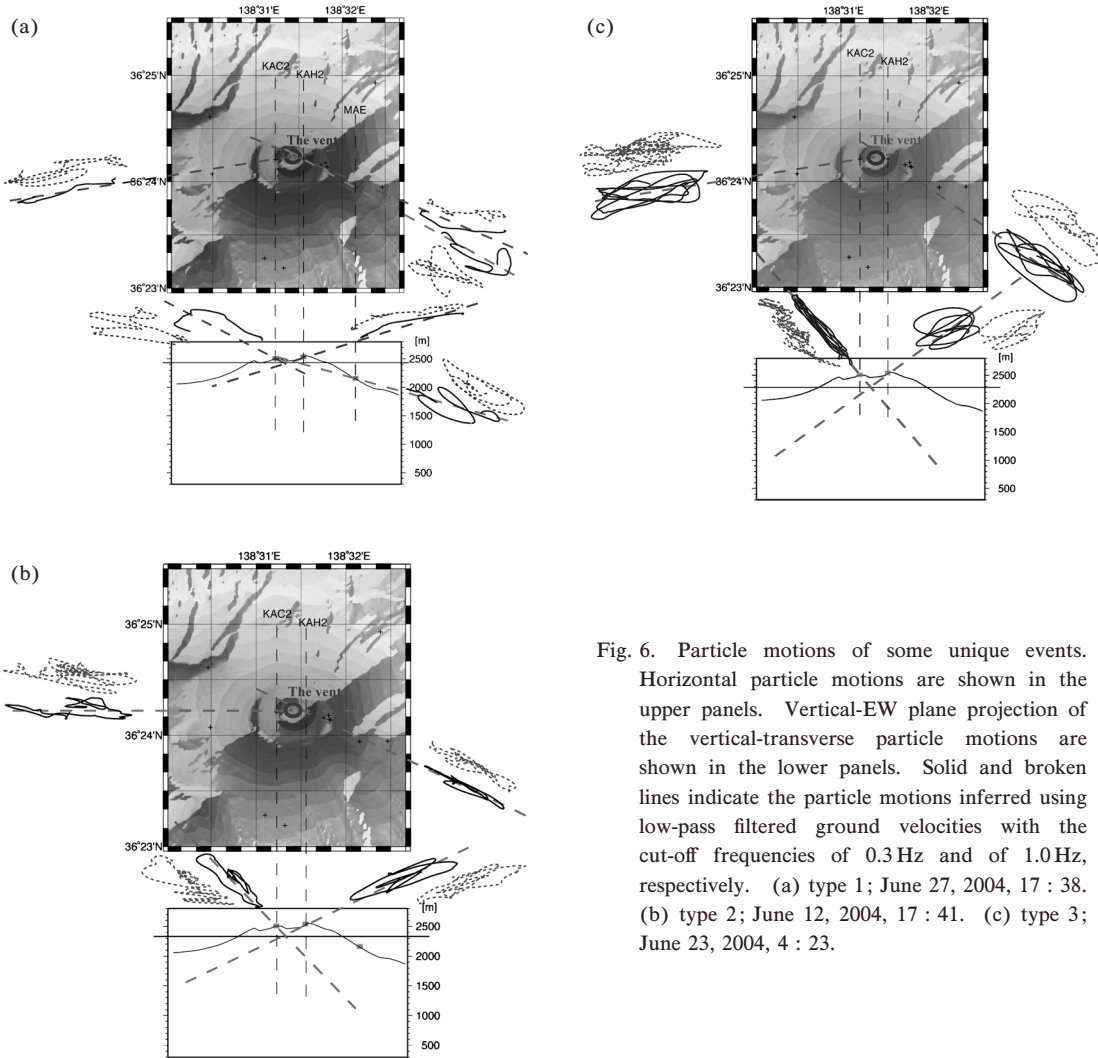


Fig. 6. Particle motions of some unique events. Horizontal particle motions are shown in the upper panels. Vertical-EW plane projection of the vertical-transverse particle motions are shown in the lower panels. Solid and broken lines indicate the particle motions inferred using low-pass filtered ground velocities with the cut-off frequencies of 0.3 Hz and of 1.0 Hz, respectively. (a) type 1; June 27, 2004, 17 : 38. (b) type 2; June 12, 2004, 17 : 41. (c) type 3; June 23, 2004, 4 : 23.

記録を解析に使える地震はここに示したものだけであるが、他のタイプ1の地震については山頂2点のパーティクルモーションからその到来方向の推定が可能である。その結果、幾つかの地震については水平面内の振動がやや火口カルデラ中央方向に向くものも見られるが、鉛直面内では Fig. 6a に示すように極めて浅い方向に向く。タイプ2については、震央はほぼ火道の位置で、深さはタイプ1よりもやや深い火口底からおよそ 100~200 m の位置に推定された (Fig. 6b)。初動の向きは火口東西各点で、火道から押し出す方向であった。タイプ3については 2004年6月23日4時23分頃に発生したイベントについて解析した結果を示す。その立ち上がりが明瞭に区別できないため、主要動部分の10秒間の振動方向から震源位置を判断した結果、震央はほぼ火道の位置で、

タイプ2と同様に、深さはタイプ1よりもやや深い位置に推定された (Fig. 6c)。なお、この微動は KAH2 に広帯域地震計が設置される前に発生したものであるため、KAH2でのパーティクルモーションは短周期地震計からその特性を補正して求めている。KAH2のパーティクルモーションの直線性が KAC2のそれに比べて悪いのは、地震計の違いによる可能性もある。

長周期地震の活動推移

KAC2で観測が始まった2003年10月17日以降について、KAC2の鉛直成分モニター記録から日別の地震発生数を数え、東側の山腹にある SAN で観測された通常の火山性地震の発生数と併せてプロットした結果を Fig. 7 に示した。長周期地震の数は KAC2での振幅が 5×10^{-6} m/s 以上のものを数え上げてある。特異な長周期地

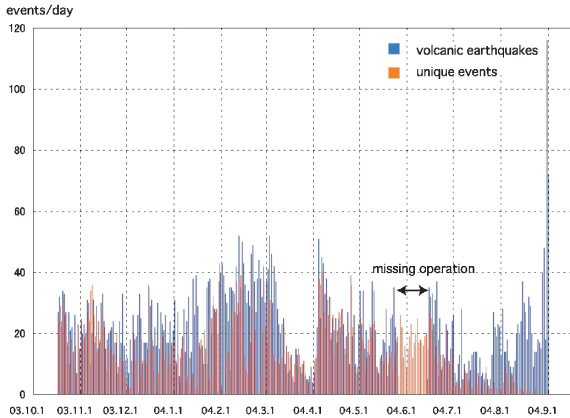


Fig. 7. Daily frequency of the unique events shown with that of normal volcanic earthquakes observed at SAN from October 17, 2003 to September 1, 2004 (From May 26 to June 13, no data).

震の活動はおおむね通常の地震と同様の消長を見せているが、7月下旬以降発生数が減少し始め、8月24日以降全く観測されていない。一方で、通常の火山性地震は噴火の数日前から劇的に発生数が増加し、噴火に至っている。浅間山周辺では国土地理院及び地震研究所によるGPS連続観測が行われているが、特異な地震と通常の火山性地震との活動推移に相違が見られるようになる2004年7月下旬に、山体深部へのマグマの貫入を示唆する地殻変動が観測されており(青木・他, 2005)、マグマの貫入が何らかの形で特異な地震の消滅に関与したことが考えられる。

山頂に広帯域地震計を設置する以前の長周期地震の活動を調べるために、短周期計の記録から地震計の周波数特性を補正した。最もよく観測されるタイプ1の周期が5秒以下であることを考慮して、補正した記録に通過帯域を周期20s以下とするパイパスフィルターを施して長周期のノイズを除去した。その結果、少なくとも2003年の9月5日まで遡って特異なイベントの発生が確認でき、その活動推移は通常の火山性地震とほぼ同じであることも分かった。

5. 群発地震の震源分布

噴火直前の群発地震活動は噴火前日、8月31日の15時00分頃に始まり、9月1日の日中に最も活動的であった。その後、徐々に活動は低下しながらも20時02分の噴火に至るまで継続している。これらの地震は山頂から離れた観測点の記録からはS波の相があまり明瞭でないB型の火山性地震に分類されるが、山頂火口東西の2

観測点(KAC2, KAH2)では、P波とS波が近接して到着し波形からはA型に分類される火山性地震の波形に類似している。また、前節までに述べてきた特異な長周期地震は、8月23日を最後に発生しておらず、群発地震の中には含まれていない。これらの群発地震活動について詳細な相対震源分布を得るためDouble Difference法(DD法)(Waldhauser and Ellsworth, 2000)を用いて震源を再決定した。DD法とは、震源から観測点への波線がほぼ共通になるような地震の組(クラスター)の、観測走時残差と計算走時残差の差(二重差: Double Difference)を最小にするような震源を求める方法で、仮定した速度構造や、観測点直下の局地的な構造などによる影響を受けにくく、精度の高い相対震源分布を再決定することができる。一方、同一のクラスターに分類される地震では、各観測点へのスローネス・ベクトルは同じであると仮定しているため、観測点までの距離に比べて十分に小さいクラスターサイズ(MAXSEP)を設定する必要がある。そこで、ここではMAXSEPをいくつか変えながら震源再決定を試みた。

群発地震の多くは微小な地震であるため、山頂付近の観測点のみでしか初動が読めないものも多いが、ここでは精度よい相対震源分布を出すことに主眼をおき、火口東西の観測点とアレイ観測点でP波、S波の到達時刻が読め、かつ気象庁のB, G, Eの各点とKURで少なくともP波の到達時刻が読めるもの55個に絞り込んで震源を再決定した。初期震源の分布をみると、極めて浅い5個の地震を除けば、最も近い山頂の観測点との震源距離は約600mから1km程度である。また、初期震源の震央はほぼ火口カルデラ内にあり、深さは海拔1500~2400mに分布する。MAXSEPを80mと小さく取ると、再決定される地震はわずか11個となるが、その震源は火口直下深さ500m(海拔2000m)に集中する。また、これらの地震の波形は時間の経過と共に若干相関は悪くなるが2組の相似な地震群に分けられ、波形からもほぼ同一の場所で発生している地震であることが確認できる。

MAXSEPを150mと大きく取ると51個の地震が再決定されるが、クラスターに浅い地震も含まれてきて、それらの間ではスローネス・ベクトルの向きのずれは山頂の観測点で15度程度まで広がる。再決定された震源分布では、深さ300mより浅い地震が西側に少しずれるが、これはスローネス・ベクトルが同一と見なせない程度にクラスターを大きく取ったことに起因する可能性がある。深さ300mよりも深い地震の分布は、次に示すMAXSEP=100mの時より再決定される地震数が多くなったこともあり若干広がっているが、ほとんど同じ位置に集中している。MAXSEPを100mにとると、ス

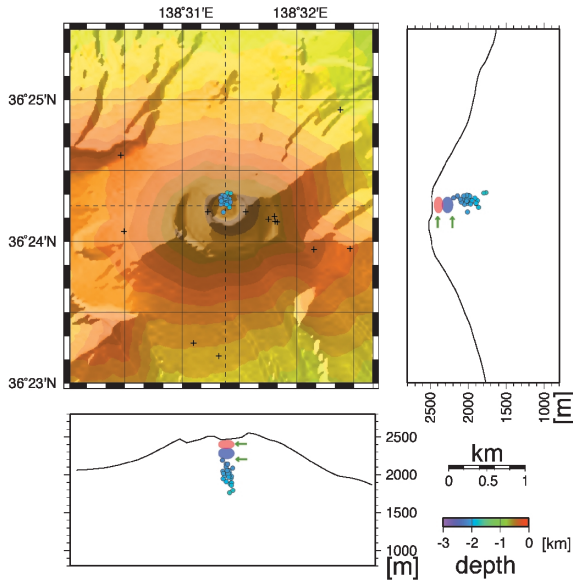


Fig. 8. Distribution of earthquake swarm occurred just before the eruption on September 1, 2004. Blue circles represent the hypocenters determined with DD algorithm. Green arrows represent the vertical single-force location of the explosion earthquakes determined by Ohminato *et al.* (2005). The red and blue ovals represent the source region of type 1 and those of types 2 and 3 estimated with the particle motions, respectively.

ローネス・ベクトルの向きのずれは山頂の観測点でも10度以下となる。山頂以外の観測点ではそのずれはさらに小さくなり、十分に同一のスローネス・ベクトルと見なすことが出来る。MAXSEP=100mとして再決定した震源分布図をFig. 8に示す。31個の地震が再決定され、その震源は今回噴火した火口の直下深さ300mから800mにほぼ鉛直に分布する。このクラスターサイズでは再決定された地震は対象とした地震(55個)の56%、群発地震全体(約600個)の5%でしかない。しかし、対象とした地震は観測網の多くの点で到達時刻を読み取れる群発活動中でも比較的大きな地震であり、これらの震源を精度良く決めることは噴火直前のプロセスを考察する上で重要であろう。なお、P波速度は2.6~3.28 km/s、 V_p/V_s 比は1.73~1.97の間で、値を動かして求めた場合も、ほぼ同様の震源分布が得られた。

6. 考 察

得られた群発地震の震源分布図(Fig. 8)に、大湊・他(2005)に依って解析された爆発地震の励起源であるシ

ングルフォースの位置を矢印で示してある。さらに、パーティクルモーションから推定した長周期地震・微動の位置も示してある。噴火前の群発地震の震源分布は、噴火に伴う爆発地震のシングルフォースの位置付近を最浅部として海拔1700m付近までほぼ鉛直に分布しており、これらの比較的大きな地震は主に、噴火直前のマグマ上昇に伴う火道とその周辺の破碎によるものと考えられる。

タイプ1の地震は2002年9月以降2004年8月24日に消滅するまでの間恒常的に発生しているが、この地震が何時から発生していたかは未だ明らかではない。一方で、タイプ2, 3の地震が観測されたのは主に2004年の5月から6月で、発生時期が限られている。また、これは7月後半からの火山性地震の増加に先行して、火山性地震活動が活発化した最後の時期に対応している。このことは、2004年の5月から6月にかけて火道内部で長周期微動を引き起こす要因と成りうる、例えば、地殻内流体もしくはマグマの移動などといった、何らかの特別な物理過程が進行していた可能性を示唆する。

タイプ1のパーティクルモーションは山頂の2観測点及びMAEにおいて、火道から外側に押し出す方向を向いている。この様な初動の向き及びパルス型の波形を説明する最もシンプルな考え方として、火道浅部での急激な増・減圧があげられる。また、山頂の2観測点では振幅に差があるが、それは、火道浅部での局所的な構造により、必ずしも等方的ではない形状を持つ増・減圧源を仮定すれば説明可能である。また、タイプ1の地震は少なくとも噴火の2年以上前から継続的に発生していたこと、その発生源が噴火直前にマグマ上昇により破碎された火道の領域より浅いところにあったと推定されることを考え合わせると、その増圧を引き起こす要因としては、火道ごく近傍の高温な領域に流入した地下水の急激な蒸発が最も考えやすいと思われる。この様に考えると、7月後半の山体深部へのマグマ貫入の時期を境に徐々に特異な長周期地震(その多くはタイプ1の地震である)が減り始めたことは、マグマ貫入により火道付近の温度がさらに上昇して、タイプ1の発生源である地下水が枯渇したことによって説明することができる。

7. ま と め

2003~2004年に浅間山山頂火口ごく近傍に設置された広帯域地震計が捉えた非常に特異な長周期地震の記録を解析した。これらの特異な長周期地震は遅くとも2002年9月5日から発生していたことが確認できた。また、活動推移は2004年の7月下旬までは通常の火山性地震と概ね一致しているが、7月下旬以降、通常の火山性地

震の回数が増加する一方で特異な地震の発生件数は減少し、8月24日以降は観測されていないことが分かった。特異な長周期地震は3つの典型的な型(タイプ1, 2, 3)に分類することができる。タイプ1の地震はパルス的な波形をしており、その特徴的な周期3~4秒程度で、パーティクルモーシオンから推定された震源の位置は火口の直下であった。また、その初動はKAC2, KAH2, MAEの三点で震源から押し出す向きであり、タイプ1の地震は火道浅部での急激な増・減圧によるものと考えられる。可能性の一つとして、火道浅部の高温領域で地下水が急熱されることによる増圧が考えられる。タイプ2の地震は減衰と共に周期が短くなっていくような長周期の波に、10~20秒ほど遅れて短周期の地震が追隨して起こるもので、2004年の5月から6月にかけて集中的に観測されている。震源はタイプ1よりもやや深く、海拔およそ2300~2400mに分布している。タイプ3は時間と共に周期の変化する、先のとがった波形を伴った地震で、震源はタイプ2とほぼ同位置に分布している。8月31日から9月1日にかけて600個以上の群発地震が噴火までの29時間の間に発生している。これらの群発地震のうち、比較的大きな地震31個の相対震源位置をDouble Difference法によって再決定したところ、今回噴火した火口の直下で海拔およそ1700~2200mにほぼ鉛直に分布する。これらの地震は、噴火直前のマグマ上昇に伴う火道とその周辺の破砕によるものと考えられる。

謝 辞

本研究の経費の一部は平成16年文部科学省科学研究費補助金(特別研究促進費)「2004年浅間火山の噴火に関する総合的調査」(代表者:中田節也, 課題番号16800002)を使用した。また、震源の解析にあたっては気象庁のデータを使用させて頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 青木陽介・渡辺秀文・小山悦郎・及川 純・森田裕一 (2005) 2004年浅間山噴火にともなう地盤変動. 火山, 50 (印刷)
- 大湊隆雄・武尾 実・熊谷博之・山品匡史・及川 純・小山悦郎・辻 浩・卜部 卓 (2005) 2004 浅間山噴火に伴う爆発地震の解析. 2005 年度地球惑星科学関連学会合同大会講演予稿集.
- 気象庁 (2004) 浅間山平成16年(2004年)の火山活動経過の概要. 火山噴火予知連絡会会報, 89, 11-23.
- 高橋正樹 (1997) 日本列島第四紀島弧火山における地殻内浅部マグマ供給システムの構造. 火山, 42, S175-S187.
- 宮崎 務 (2003) 浅間火山活動記録の再調査. 東京大学地震研究所彙報, 78, 283-463.
- 村上 亮 (2005) GPS 連続観測結果が示唆する浅間火山のマグマ供給系. 火山, 50, 347-361.
- Waldhauser, F. and Ellsworth, W.L. (2000) A Double Difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward Fault, California, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 90, 6, 1353-1368.

(編集担当 西村太志)