

口永良部島火山における火山性地震の特性

— 2000年集中総合観測 —

井口正人・山本圭吾・高山鉄朗

前川徳光*・西村太志**・橋野弘憲**・八木原寛***・平野舟一郎***

* 北海道大学大学院理学研究科

** 東北大学大学院理学研究科

*** 鹿児島大学理学部

要 旨

火山噴火予知計画に基づく2000年度の集中総合観測において、口永良部島火山の地震観測を2000年11月27日から2001年3月18日まで実施した。観測された火山性地震の波形は、P波、S波の位相が明瞭なA型地震、6~30Hzの高周波振動が卓越する高周波地震、2~4Hzの低周波成分からなる低周波地震、特定の周波数の波動が卓越し、コーダ部分が一定の割合で緩やかに減衰する波形をもつモノクロマティック微動の4種類に分類される。

高周波地震の震源は、新岳火口の西縁付近の深さ100~400mに集中する。その震源域は、噴気を伴う熱異常域に対応している。そのメカニズムは東西伸張の正断層型である。これらのことから、高周波地震は、極めて浅い震源をもつvolcano-tectonic地震とみなすことができ、新岳西部の地熱活動に伴う岩石のせん断破壊により発生すると考えられる。また、高周波地震は、その約40%が、2~4秒前に1~2個の前駆微小地震を伴い、連発する傾向がある。

モノクロマティック微動の卓越周波数は6.2Hz付近にあるが、1.1, 3.0, 4.8, 8.0Hz、また、10~26Hzの高周波部分にもいくつかのピークが存在する。口永良部島に設置したすべての観測点においてスペクトルのピークは共通に見られ、ピーク周波数の波動は震源において励起されていると考えられる。これらのピークのうち、1.1, 3.0, 4.8, 6.2Hzのピークはその帯域が狭く、シャープであり、コーダ部分において緩やかに減衰する。一方、8Hzより高周波側のピークでは帯域は広く、そのエネルギーは、初動から数秒間に集中しており、長いコーダ部分ではほとんど振動がみられない。8Hz以上の高周波成分は高周波地震に特徴的な周波数成分であり、高周波地震の発生の繰返しだが、1.1, 3.0, 4.8, 6.2Hzにピークをもつような振動を発生するresonatorを励起させたものと考えられる。

キーワード: 口永良部島, 火山性地震, 高周波地震, モノクロマティック微動, 震源分布, 発震機構

1. はじめに

口永良部島火山は、屋久島の西方14kmにある安山岩質の活火山島である。島の中心には新岳、古岳などの中央火口丘を有する。記録に残されている最古の噴火は

1841年である。1933年12月から1934年1月にかけて比較的規模の大きい噴火が発生し、この噴火は新岳南東の七釜集落において死者8名、負傷者26名の被害をもたらした。その後、口永良部島火山は1945年、1966年、1980年と頻繁に、新岳火口内あるいはその東に形成され

ている割れ目から水蒸気爆発を繰り返してきた。1966年11月の噴火の3ヶ月前には地震観測が行われたが、火山性地震はほとんど観測されなかった(吉川・他, 1968)。京都大学防災研究所桜島火山観測所(現:火山活動研究センター)は、火口近傍での連続観測の必要性を顧みて、1991年12月に発見された新岳の噴気異常を契機に、新岳火口の西方0.4kmの地点において火山性地震の常時観測を行ってきた。(京都大学防災研究所, 1992; 1995; 1996)。新岳山腹の地震観測点から山麓まで無線テレメータにより地震の信号を伝送し、パソコンを用いたトリガー方式により地震波形を記録した後、桜島火山観測所まで加入回線を用いて波形を伝送している(Iguchi, 1991)。1995年以前は、火山性地震の月別発生頻度は20回程度であったが、1996年3~6月には約80回/月と火山性地震が新岳火口周辺に頻発した。また、5月末から6月はじめにかけて口永良部島の北東海域において地震が多数発生した(山本・他, 1997)。その後、火山性地震の活動はしばらく静穏化した。1999年8月から再び活発化し、10月には321回の火山性地震が観測された。また、12月には屋久島と口永良部島間の海域において、1996年の活動と同様に地震活動が活発化した。その後も火山性地震活動の活発な状態が続いている。口永良部島では1980年の噴火を最後に、約20年間、噴火が発生していないが、火山性地震活動は活発化の傾向にあり、火山噴火予知計画に基づいて、2000年度の集中総合観測が口永良部島火山において実施された。そのうち、地震観測は京都大学、北海道大学、東北大学、鹿児島大学によって2000年11月末から2001年3月まで行われた。

口永良部島において発生する地震については、構造性地震に類似し、P波およびS波位相が識別できるものはA型地震とみなされてきたが、それ以外のS波位相が不明瞭な地震は、10Hz以上の高周波が卓越する高周波地震、2~4Hzの低周波からなる低周波地震、その両者が混合しているHybrid型、長いコーダをもち単色波的な様相を呈すMonochromatic型に分類されている(京都大学防災研究所, 1996)。火山性地震の震源位置は、3点観測網により推定されてきたが、火山性地震の到来方位は新岳方向に決められている(吉川・他, 1968; 角田・他, 1971; 西・他, 1975; 京都大学防災研究所・他, 1981; 加茂・他, 1984)。1996年の火山性地震の活動の活発化に際し、山本・他(1997)は、火山性地震の震源決定精度を向上させるため、口永良部島の山体を取り囲むように、山麓および山腹に地震計を配置し、火山性地震の震源を新岳火口周辺の海水面付近の高さに求めた。また、低周波地震およびモノクロマティック微動の初動分布から、その発生メカニズムが通常の構造性地震とは異なっていることを示した。今回の集中総合観測では、高周波地震

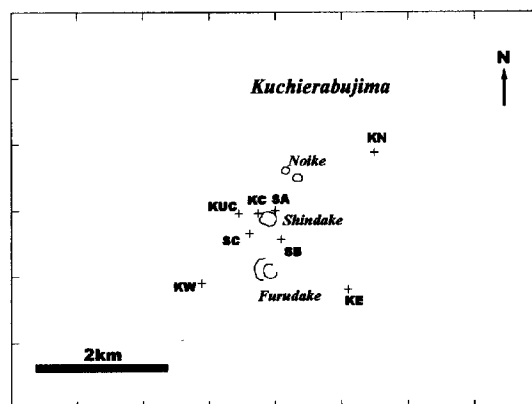


Fig. 1 Seismic network at Kuchierabujima volcano. Locations of seismometers are represented by crosses. The station KUC with short-period (1Hz) 3-component seismometer is installed permanently. Short-period (2Hz) vertical seismometers were installed at SA, SB and SC around Shindake crater. Broadband seismometers were set at Stations KE and KW. The stations KC and KN were equipped with acceleration seismometers.

の高精度震源決定とメカニズムの推定を目的として、山麓だけでなく、新岳火口を取り囲むように地震計を設置した。また、広帯域地震計などを設置してモノクロマティック微動の周波数特性を調べた。本稿では、口永良部島火山において観測された高周波地震およびモノクロマティック微動の特性について述べる。

2. 観測

Fig.1に地震観測点の配置を示す。常設観測点 KUCに加え、2000年11月29日から2001年3月18日まで、7観測点を新たに設置し観測を行った。観測点 KUCには固有周波数 1Hz の3成分速度型地震計が設置されている。地震計からの信号は、これまでイベントトリガー方式により記録されていたが、集中総合観測の期間中はパソコンに連続収録した。新岳の火口周辺における火山性地震の震源位置を精度よく決定するために火口を取り囲む SA, SB, SC 観測点には固有周期 2Hz の速度型地震計(上下動)を設置した。地震計からの信号は特定小電力簡易無線テレメータにより、本村集落まで伝送し、データロガー(LS8000WD)に連続収録した。新岳火口西縁の KC には、加速度計3成分(Akashi, 6A3)を設置し、データロガーに連続収録した。また、山麓の KW, KE の観測点には広帯域地震計(STS-2)を、KN には加速度計(6A3)を設置し、それぞれデータロガー(LS8000WD および LS8000SH)に連続収録した。いずれの観測点でも 30Hz の low pass filter を施した後、100Hz でサンプリング

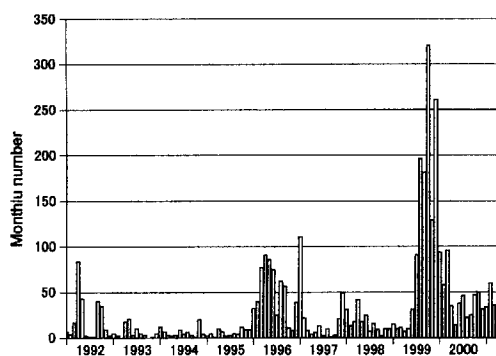


Fig.2 Monthly number of volcanic earthquakes at Kuchierabujima volcano. Earthquakes with maximum amplitude >10 $\mu\text{m/s}$ were counted.

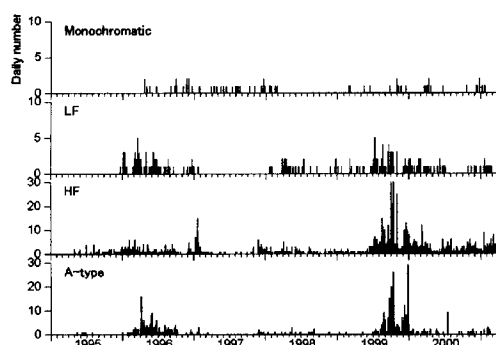


Fig.3 Daily number of volcanic earthquakes. The volcanic earthquakes are classified into A-type, high-frequency type, low-frequency type and monochromatic type.

した。

3. 地震活動の推移

1992年1月以降、口永良部島火山に発生した10 $\mu\text{m/s}$ (p-p)以上の最大振幅をもつ火山性地震の月別発生回数を Fig.2 に示した。1992年4月には84個の火山性地震が発生したが、その後は、火山性地震の発生頻度は低く、1995年まで20個/月以下で推移した。1996年には火山性地震の発生頻度が急増し、3月から6月までは約80個/月の地震が発生した。また、1997年1月には111個の地震が観測された。その後、小康状態を保っていたが、1999年7月ごろから火山性地震の発生数が増加し、7月には91個、8月には196個、9月には181個の地震が観測され、10月には321個の火山性地震が記録された。以後、2000年も比較的地震活動が活発な状態が続いた。

口永良部島において発生する火山性地震は、A型地

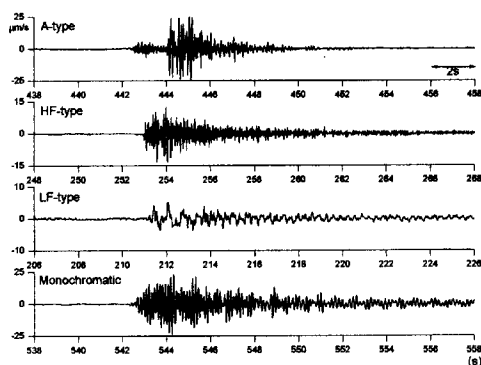


Fig.4 Typical volcanic earthquakes observed during the Joint observation from November 2000 to March 2001. These waveforms were recorded at the station KUC. Volcanic earthquakes are classified into four types; A-type with clear P and waves, HF-type with high frequency of 6-30Hz, LF-type dominated by lower frequency around 2-4Hz and monochromatic event having dominant peak frequency and long coda part decaying slowly.

震、高周波地震、低周波地震、ハイブリッド型、およびモノクロマティック微動に分類されるが(山本・他、1997)、ここでは、ハイブリッド型を低周波地震に含めて、A型地震、高周波地震、低周波地震、モノクロマティック微動の日別発生頻度を Fig.3 に示した。口永良部島において発生する火山性地震の多くは、高周波地震である。高周波地震の増加に連動するように、A型地震および低周波地震の発生回数も増加する傾向が見られる。1996年以降のA型地震の多くは、約15kmはなれた北東～東北東の海域を震源とする地震である。1996年3月～6月および1999年10月～12月の活動期に、新岳山頂火口周辺の高周波地震および低周波地震が増加したが、それとほぼ同時期に口永良部島北東海域でもA型地震の活動の活発化が見られた。

4. 波形の特徴

集中総合観測中に記録された典型的な地震波形の例のうち、常時観測点 KUC において観測された地震波形の例を Fig.4 に示す。これまで知られているようなA型地震、高周波地震、低周波地震およびモノクロマティック微動が観測された。観測された火山性地震の90%は高周波地震であった。これらの地震の初動から10.24s間のスペクトルを Fig.5 に示した。A型地震は、8-10Hz付近にピークをもち、それよりも高周波側の25Hz付近まで大きな振幅を有する。高周波地震は、A型地震よりも更に高周波成分が卓越しており、6Hzから30Hz付近まではほぼフラットなスペクトル構造をもつ。なお、地震波形の観測に際し、30Hzのlow pass filterを施しており、30Hzよりも高周

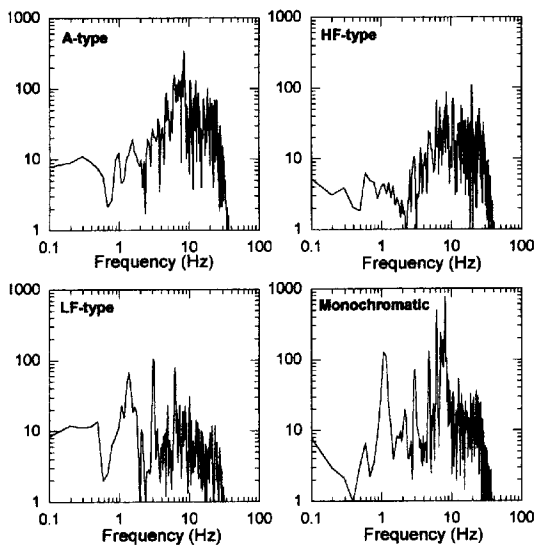


Fig.5 Velocity spectra of four types of volcanic earthquakes. Waveforms are shown in Fig.4. The spectra were calculated by FFT using the waveform data of 10.24s from the onset.

波側まで帯域が延びている可能性がある。一方、低周波地震は低周波成分が卓越しており、Fig.5の例では1.3Hz、3Hz、6.5Hzの周波数にピークがみられる。一方、7Hz以上の高周波成分は欠如している。モノクロマティック微動では、8.0Hzに最も卓越したピークが存在するが、それ以外に1.1、3.0、6.2Hzにもピークがみられる。

4.1 高周波地震

新岳火口周辺のSA、SB、SC、KCおよびKUCの5観測点におけるP波初動の着震時を用いて高周波地震の震源位置を求めた。口永良部島の深さ4kmまでの平均的なP波速度は3.3km/sと求められているが、新岳周辺の浅い部分については $V_p=2.0\sim 2.2\text{km/s}$ が妥当な速度とされている(山本・他, 1997)。今回の震源決定では $V_p=2.0\text{km/s}$ の半無限均質構造を仮定して震源決定を行った。震源位置をFig.6に示す。震源の多くは、新岳の西側の火口縁付近に集中して分布する。震源の位置の標高は100~400mであり、深さは100m~400mと極めて浅い。高周波地震のP波初動は、必ず、KC、SAまたはSC、SB、KUCの順に到達し、求められた震源位置は妥当なものと考えられる。1980年9月28日の水蒸気爆発は、新岳の東の割れ目において発生したが、今回の観測では新岳火口の東部分には、震源は求まらなかった。また、古岳において発生する地震は観測されなかった。

Fig.7にKUC観測点における初動から0.3s間の振動軌跡を示す。初動はほぼ真下から入射しているが、後続のP波の到来方向は、KUC観測点からみてほぼ東南東

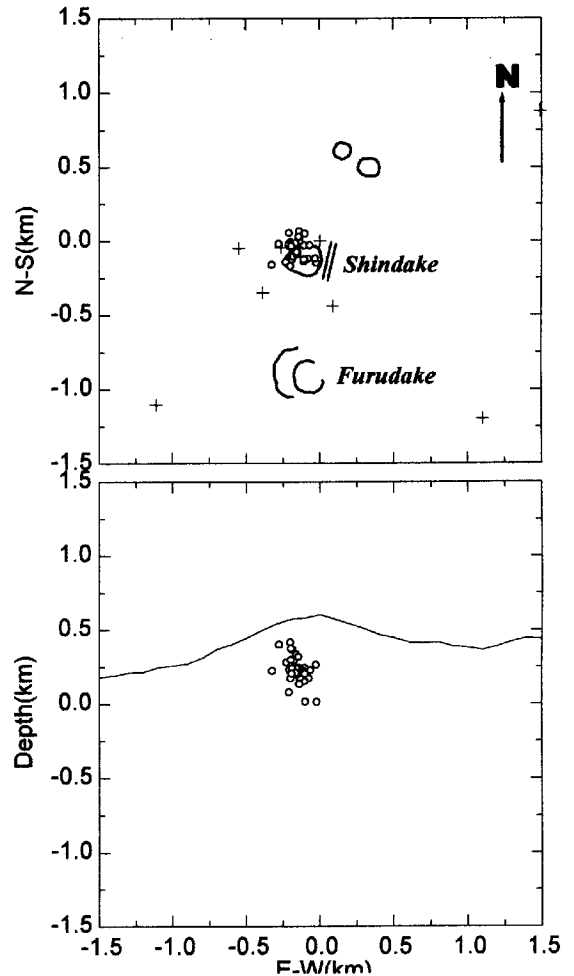


Fig.6 Distribution of hypocenters of high-frequency events. Circles and crosses denote hypocenters and seismic stations, respectively. Top: epicenter distribution. Bottom: vertical cross-section projected onto E-W plane. Hypocentral locations were calculated assuming a homogeneous half space of $V_p=2.0\text{km/s}$. The hypocenters of high-frequency earthquakes are concentrated at the western part of Shindake crater. The depths range from 100m to 400m. No earthquakes were located beneath a fissure formed east of the Shindake crater. The 1980 phreatic eruption occurred at the fissure.

であり、求められた震源域の方向を示す。P波初動の0.2秒後に水平動の東西成分に振幅の大きな位相が現れる。振動軌跡の鉛直断面では、ほぼ水平方向に振動し、P波初動と直交している。また、水平面でも振動軌跡はP波初動と直交して北東-南西方向に振動しており、この位相は、S波と考えられる。 V_p/V_s を1.73と仮定すると、S-P時間0.2sから震源距離は550mとなり、求められた震源の深さは妥当なものと考えられる。

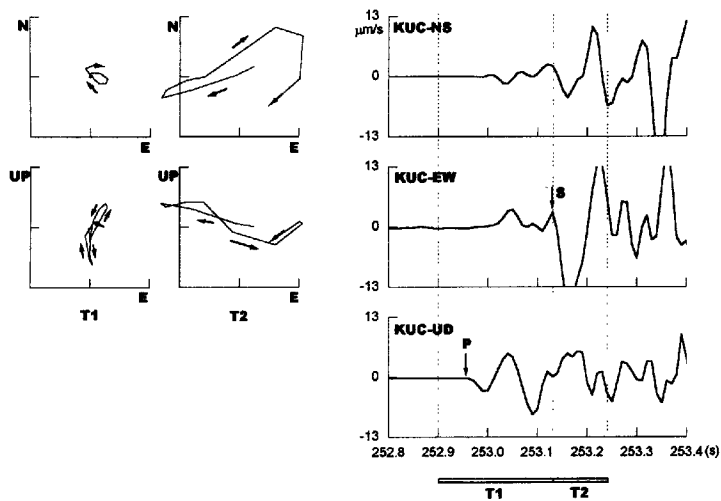


Fig.7 Particle motion diagram of the initial part of the high-frequency event. Particle motions are projected onto horizontal plane and vertical cross-section of east-west direction. Right three traces represent 3-component waveforms. “P” and “S” denote the beginning of P and S-wave first motion.

次に、高周波地震の発震機構を求めるため、初動の押し引き分布を調べた。初動の押し引き分布を上半球等積投影し、可能なメカニズムを求めた(Fig.8)。火口周辺の5観測点では、初動はすべて引きであるが、震央に近い観測点において引き、やや離れた観測点では押しであることがわかる。押し引きが混在する場合があること、particle

motion からは S 波が確認できることから考えて等方的な力源は考えにくく、構造性地震と同様に 4 象限型の初動分布を示すものと考えたほうがよさそうである。Fig.8 に composite mechanism 解を示した。4 象限型の発震機構をもつとすれば、震央に近い KC 観測点で初動は常に引きで、震央から遠い観測点においては初動が押しで観測さ

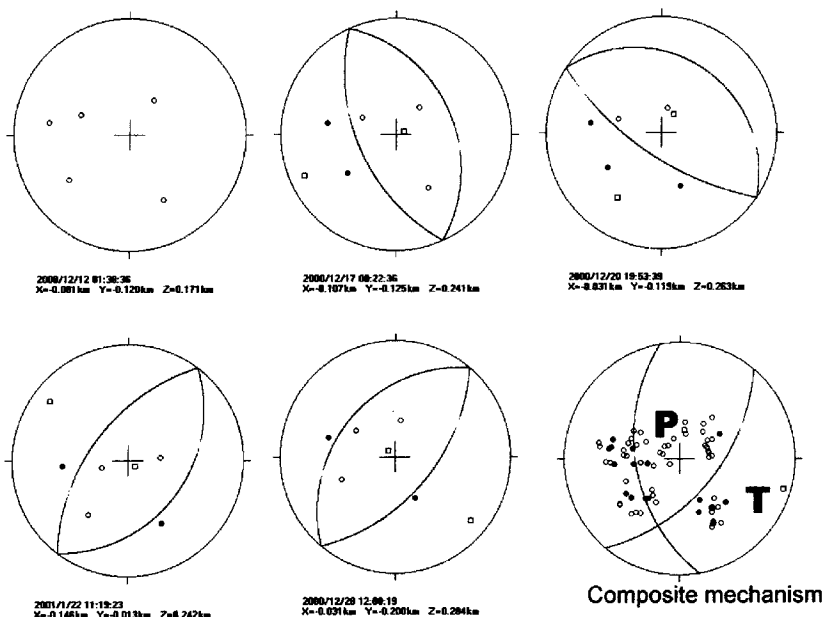


Fig.8 Polarity distribution of the P-wave first motion of high-frequency event. Open and solid circles represent dilations and compressions, respectively. These diagrams are equal-area projections on the upper hemisphere of the focal sphere. Composite focal mechanism was obtained by adding the polarities of 14 events.

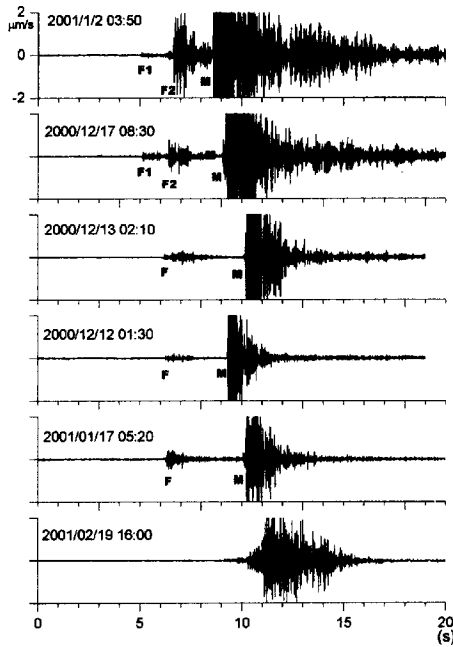


Fig.9 Examples of high-frequency events with foreshocks. The characters “M” denote main shocks and “F” or “F1” and “F2” do foreshocks. Foreshocks preceded to the main shock by 2-4 s. The bottom traces represent tremor-like high-frequency events with ambiguous onset.

れることから考えて、正断層型のメカニズム解が最も妥当と思われる。Fig.8の composite mechanism からは、断層面の走向はほぼ南北方向で、張力軸は東西方向とした場合が、もっとも初動分布をうまく説明できる。

高周波地震は特徴的な発生様式を示す。単発的に発生することもあるが(Fig.5), Fig.9に示すように2~4s前に、1~2個の前駆地震をしばしば伴う。観測された高周波地震の約40%が前駆地震を伴った。前駆地震は、main shockよりも常に振幅が小さく1/5~1/10程度である。しかも、2個の前駆地震を伴うときは、振幅が順次、増加していくことがわかる。前駆地震の震源位置は、main shockと同様に、新岳火口の西縁の浅い場所に決まるが、前駆地震とmain shockでは波形が異なることから、隣接した別の場所において発生しているものと思われる。Fig.10aに2つの前駆地震とmain shockについて、初動から1.5s間のスペクトルを示した。スペクトルの構造は互いに類似しており、いずれも高周波地震に特徴的な6~30Hzの高周波成分が卓越している。比較のためにFig.5に示したA型地震では、P波初動の約1.8秒後に顕著なS波が観測されているが、S波はP波に比べ8Hz付近の低周波成分が卓越していることがわかる(Fig.10b)。高周波地震の2つの位相は互いに類似していることから、P波とS波ではなく、独立した2つのイベントが連続して発生したものと思われる。また、Fig.9の最下段に示すように、初動は明瞭でなく

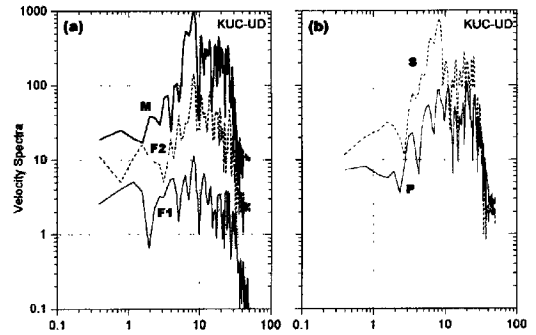


Fig.10 (a) Comparison of the velocity spectra of the foreshocks with main shock. The waveform is shown by the first trace in Fig.9. The spectra were calculated by FFT using 1.5s data from the beginning of the foreshocks and main shock. (b) Spectra of P and S-waves of A-type events. “P” and “S” denote P-waves and S-waves, respectively. Both of the A-type event and the high-frequency event with the foreshock have two distinct phases. The spectrum of P-wave of A-type events is dissimilar to that of S-wave dominated by lower frequency of 8 Hz. The spectra of two phases of the high-frequency event are similar to each other. The high-frequency event is composed of three distinct events.

ゆるやかにはじまり微動に類似した波形を示すものもある。この高周波微動のスペクトルも高周波地震のスペクトルと同様に6~30Hzの帯域をもち、高周波地震の連続的な発生である可能性が高い。

4.2 モノクロマティック微動

観測点 KC, SA, SB, SC, KUC, KW, KEにおけるモノクロマティック微動の地震波形をFig.11に示した。観測点KCには、加速度計が設置されているので、Fig.11には積分した速度波形を示した。また、初動から20.48秒間のスペクトルをFig.12に示した。6.2Hzあるいは8.0Hzのピークが卓越し、それ以外にもいくつかのピークが見られる。ピークの振幅は各観測点によって異なるが、1.1, 3.0, 4.8, 6.2, 8.0Hzのピークはすべての観測点に共通して見られる。1.1, 3.0, 4.8, 6.2Hzのピークは狭い周波数帯域にエネルギーが集中しているが、8.0Hzのピークでは7Hzから9Hzにかけて帯域が広がっており、この特徴はすべての観測点にみられる。このことから、これらの周波数の波は、震源において発生しているものと考えられる。Fig.12の最上段にKCにおける加速度スペクトルを示した。加速度領域では、28Hz付近まで周波数帯域が伸びていることがわかる。6Hzよりも高周波側では、ピークが鋭くなく広がっている。

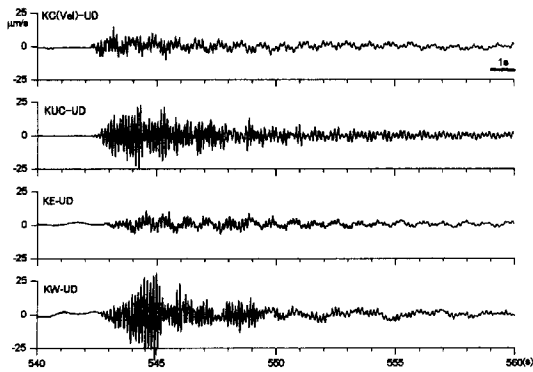


Fig.11 Seismograms of monochromatic events. The first trace represents a velocity seismogram that was obtained by integrating from acceleration seismogram at station KC.

5. 議論

これまで、P 波、S 波の位相が明確に識別できるものを A 型地震、S 波の識別が困難であるものうち、高周波成分が卓越するものを高周波地震、2-4Hz の低周波成分が卓越するものを低周波地震として分類してきた。このうち、高周波地震については、(1)新岳火口の西縁の深さ 100~400m と極めて浅い場所に集中して発生していること、(2)P 波初動の押し引き分布から、高周波地震のメカニズムは、東西伸張の正断層が最も妥当な解である事がわかった。正断層型のメカニズム解が得られたこと、また、particle motion から P 波初動の 0.2s 後に S 波が同定できたことから、高周波地震は、A 型地震や構造性地震と同様に岩石のせん断破壊によって生じ、「浅い」volcano-tectonic 地震に位置付けられるべきものである。高周波地震は、観測点から数百 m 以内の震源距離において発生しているため、S-P 時間が 0.2 秒程度と短く、これまで、観測波形から直接、S 波を同定することが困難であったと思われる。震源距離数百 m 以内の高周波地震は、震源距離が 15km の口永良部島と屋久島間の A 型地震にくらべ、スペクトルの帯域がより高周波側に伸びているが (Fig.5)、震源に近接した観測点では高周波成分が減衰することなく観測されているため、このようなスペクトルの違いが生じたものと考えられる。

また、高周波地震の震央は、新岳火口の西縁付近に集中する。Fig.13 に 2001 年 2 月 1 日に観測された口永良部島新岳火口周辺の地表面温度分布を示す。熱異常は、火口の北西~西~南西の縁およびそこから 100m 以内の領域に存在し、この領域では弱いながら多数の噴気が存在する。高周波地震の震央分布は、この熱異常域にほぼ一致している。一方、1980 年に水蒸気爆発が発生した火口東側の割れ目には熱異常はなく、今回の観測で

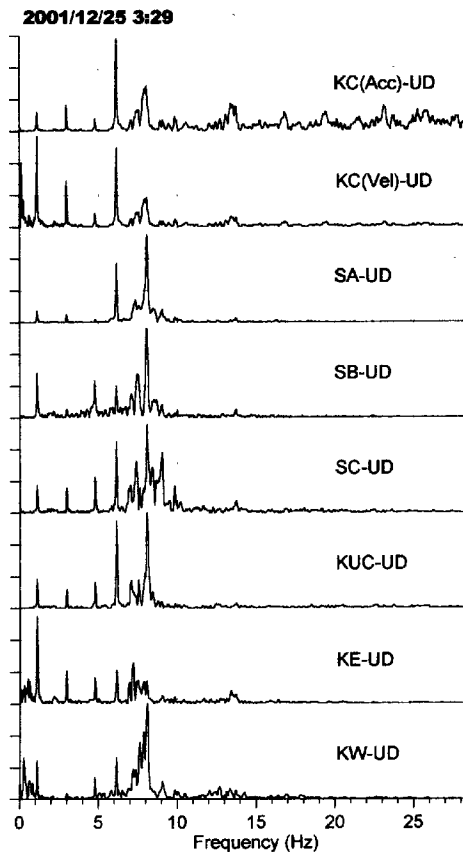


Fig.12 Spectra of the monochromatic event at all the stations. The spectra were calculated by FFT with the data of 20.48s from the beginning of the event. The scales are normalized with the peak amplitudes, respectively. The first graph shows acceleration spectra at station KC. High-frequency components up to 28 Hz were well observed. The second graph is a velocity spectrum of the station KC, calculated from the first graph.

はこの地域に高周波地震は発生していなかった。高周波地震の震源域は、火口西部の熱異常域に一致しており、火口西側浅部での地熱活動あるいは熱水活動が高周波地震を引き起こしている可能性が高い。高周波地震は A 型地震と同様のメカニズムをもっており、地熱地域の岩石のせん断破壊によって発生しているものと推定される。高周波地震は、2~4 秒前に微小な前駆地震をしばしば伴うなど、連続的に発生する傾向がある。2-3 秒前に微小な前駆地震を伴う高周波地震は、Ruapehu 火山でも報告されている (Hurst and McGinty, 1995)。また、White Island 火山では、高周波地震の連続的な発生によって生じると考えられる“Spasmodic burst”が頻発する (Nishi et al., 1996)。口永良部島火山において発生する高周波地震は、Ruapehu 火山や White Island 火山のように火口湖が存在したり、浅部熱水系が発達している火山に発生する高周

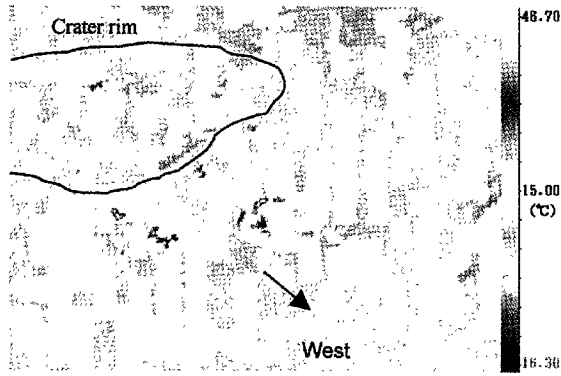


Fig.13 Surface ground temperature around the crater of Shindake. The image was observed by an infrared scanner. High temperature is distributed around the western rim of the crater.

波地震と発生様式が類似している。

高周波地震のメカニズムは、東西方向に伸張する正断層型の解が得られた。このことは口永良部島の火口周辺では、東西伸張の応力場が支配的であることを示唆する。新岳の東側の割れ目が南北に走行していること、また、野池～新岳～古岳などの火口列が、南北方向に並んで存在することは、東西伸張の応力場を反映しているのかも知れない。

口永良部島のモノクロマティック微動は、その波形の特性から浅間山や草津白根火山において発生する T 型地震(浜田・他, 1975)あるいは N 型地震(Sawada, 1998)に類似している。その周波数特性を調べたところ、8Hz に卓越したピークが存在し、それ以外にも 1.1, 3.0, 4.8, 6.2Hz にピークが存在することがわかった。スペクトルに卓越したいくつかのピークをもつ微動としてハーモニック微動がよく知られている。例えば、桜島火山では、C 型微動とよばれ、基本周波数の整数倍にピークが存在する harmonic なスペクトル構造をもつ(加茂・他, 1977)。このようなスペクトル構造をもつハーモニック微動は、Langila 火山(Mori, et al., 1989)や Sumeru 火山(石原・他, 1995)で観測される。一方、口永良部島の微動は、ハーモニック微動に比較して、スペクトル構造が複雑である。1.1, 3.0, 4.8Hz のピークは、1.8-1.9Hz の等間隔で存在するが、最も低周波のピーク 1.1Hz の整数倍ではない。また、6.2Hz のピークは 4.8Hz のピークからは 1.4Hz の間隔で等間隔ではなくなっている。口永良部島火山の微動のように、そのスペクトルのピークが、低周波側では等間隔に近く現れるが、基本周波数の整数倍ではない例として、草津白根山の微動(Fujita et al, 1995)や Papandayan 火山の quasi-monotonic event(Surono et al., 1998)がある。更に、口永良部島のモノクロマティック微動の 7Hz よりも高周波側のピークでは、そのスペクトルは broad になっている。Fig.14 に 1.1, 3.0, 4.8, 6.2, 8.0Hz 付近の周波数帯域の band pass

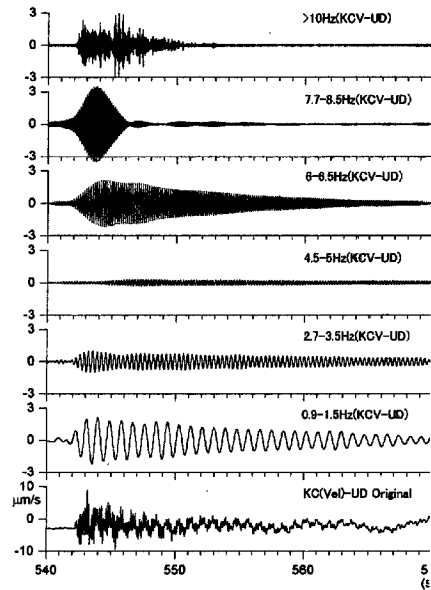


Fig.14 Filtered seismograms of the monochromatic event. Unfiltered waveform is shown in the bottom box. The velocity seismogram is derived from acceleration seismogram at the station KC by integration.

filter および 10Hz の high pass filter を施した波形を示す。1.1, 3.0, 4.8Hz, 6.2Hz の帯域の振動は、継続時間が長く、一定の割合で減衰していくことがわかる。これらのピークは、岩石の中の流体溜まりの固有振動によって励起されている可能性が高い(Fujita et al., 1995)。一方、7.7-8.5Hz の周波数帯域では初動から約 3 秒間に、10Hz よりも高周波側の帯域では、振動は初動から約 9 秒間にしかみられない。高周波成分が、モノクロマティックな微動の初動付近にみられる現象は、インドネシアの Kelud 火山でも観測されており、流体の溜まりの振動を励起させるトリガー過程と考えられている。(Lesage and Surono, 1995)。口永良部島のモノクロマティック微動でも、7Hz 以上の高周波成分が、火山性微動の頭部に集中しており、トリガー過程を反映しているものと考えられる。そのスペクトルの特徴は、高周波地震のスペクトルに類似しており、高周波地震の発生が流体の振動のトリガーとなっているのかもしれない。高周波部分の波形は、典型的な高周波地震のように impulsive な波形ではなく、Fig.7 の下段に示したような微動に類似したものである。高周波地震は連続して発生する傾向があり、1つの高周波地震の発生によってモノクロマティックなコーダ部分が励起されるのではなく、高周波地震の連続的な発生が、resonator としての流体溜まりの振動を励起させたものと考えられる。

6. まとめ

- 1) 口永良部島火山に発生する高周波地震は、噴気を伴う地熱地帯である新岳火口の西縁付近の深度100~400mの浅い場所に発生し、正断層型のメカニズムを持つことから火山浅部の地熱・熱水活動に伴う、周辺岩石のせん断破壊によって発生するものと考えられる。
- 2) モノクロマティック微動については、卓越したピークといくつかのピークからなる。7Hzよりも低周波側のピークは鋭く、その振幅はゆるやかに減衰する。8Hzよりも高周波側では、そのエネルギーはイベントの頭部に集中していることから、高周波地震の繰返し発生がトリガーとなって、1.1, 3.0, 4.8, 6.2Hzにピークをもつ波を発生する resonator を励起したものと推定される。

口永良部島において発生する高周波地震やモノクロマティック微動は、火口湖が存在したり、地下熱水系が発達している火山において発生する火山性地震と類似した特長をもち、その活動は火山浅部の熱水、地下水と密接に関連していることが推定される。火山浅部の熱水、地下水の分布など流体を含めた構造を明らかにしていく必要がある。

謝 辞

口永良部島火山の集中総合観測を実施するにあたり、鹿児島県総務部消防防災課、上屋久町役場および同口永良部島出張所にご協力をいただきました。記してお礼申し上げます。

参考文献

- 石原 和弘・井口 正人・グデ スアンティカ・スクヒャール(1995):インドネシア Semeru 火山の火山性地震・微動, 京都大学防災研究所年報, 第 38 号 B-1, pp.161-171.
- 角田寿喜・前野昌徳・樽木孝利(1971):口永良部島の地震と火山活動, 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), No.4, pp.43-52.
- 加茂幸介・古澤保・赤松純平(1977):桜島の火山性微動の性質について, 火山, 第22巻, pp.41-58.
- 加茂幸介・江頭庸夫・西潔・石原和弘・高山鉄朗・中村貞美(1984):口永良部島火山 1980年9月の噴火活動, 鹿児島県の地震と火山, 第13・15号合併号, pp.37-43.
- 京都大学防災研究所・東京工業大学工学部・鹿児島大学理学部(1981):1980年(9月28日)の口永良部島新岳の噴火(概報), 火山噴火予知連絡会会報, 第20号, pp.1-9.
- 京都大学防災研究所(1992):薩南諸島における火山活動(1991年1月~1992年5月), 火山噴火予知連絡会会報, 第53号, pp.101-107.
- 京都大学防災研究所(1995):薩南諸島における火山活動(1992年6月~1995年5月), 火山噴火予知連絡会会報, 第62号, pp.62-64.
- 京都大学防災研究所(1996):薩南諸島における火山活動(1995年5月~1996年5月) — 口永良部島火山の地震活動の活発化 —, 火山噴火予知連絡会会報, 第65号, pp.123-127.
- 西潔・石原和弘・高山鉄朗(1975):口永良部島火山における臨時地震観測結果, 京都大学防災研究所年報, 第18号B, pp.53-58.
- 浜田信生・神宮博・生本光二(1975):減衰の遅い終期微動を伴う火山性地震について, 火山, 21, pp.167-183.
- 山本圭吾・井口正人・高山鉄朗・石原和弘(1997):1996年口永良部島火山の地震活動の活発化について, 京都大学防災研究所年報, 第40号B-1, pp.39-47.
- 吉川圭三・江頭庸夫・西潔(1968):口永良部島の地球物理学的調査, 京都大学防災研究所年報, 第11号A, pp.133-140.
- Fujita, E., Ida, Y. and Oikawa, J. (1995): Eigen oscillation of a fluid sphere and source mechanism of harmonic volcanic tremor, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.69, pp.365-378.
- Hurst, A.W. and McGinty, P.J. (1995): Seismicity of Ruapehu volcano recorded during the 1994 seismometer deployment, Institute of Geological & Nuclear Science Report, 95/45, 13p.
- Iguchi, M. (1991): Geophysical Data Collection Using an Interactive Personal Computer System (part 1) -Experimental Monitoring at Suwanosejima Volcano-, Bull. Volcanol. Soc. Jpn., Vol.36, pp.335-343.
- Lesage, Ph. And Suroño (1995): Seismic precursors of the February 10, 1990 eruption of Kelud volcano, Java, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 65, pp.135-146.
- Mori, J. Mori, J., Patia, H., McKee, C., Itikarai, I., Lowestein, P., De Saint Ours, P., Talai, B. (1989): Seismicity associated with eruptive activity at Langila Volcano, Papua New Guinea, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.38, pp.243-255
- Nishi, Y., Sherburn, S., Scott, B. and Sugihara, M. (1996): High-frequency earthquakes at White Island volcano, New Zealand: Insights into the shallow structure of a volcano-hydrothermal system, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 72, pp.183-197.
- Sawada, M. (1998): The source mechanism of B-type and explosion earthquakes and the origin of N-type

earthquakes observed at Asama volcano, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, Vol.73, pp.155-265.
Surono, Handayani, G., Triastuti, H. Praja, N. K. (1998):

Low frequency earthquakes (Hydraulic fracturation) on Papandayan volcano, Proc. Symp. Japan-Indonesia IDNDR Project, pp.137-145.

Characteristics of Volcanic Earthquakes at Kuchierabujima Volcano -Geophysical and Geochemical Joint Observation 2000-

Masato IGUCHI, Keigo YAMAMOTO, Tetsuro TAKAYAMA
Tokumitsu MAEKAWA*, Takeshi NISHIMURA**, Hironori HASHINO**,
Hiroshi YAKIHARA*** and Shuichiro HIRANO***

* Graduate School of Science, Hokkaido University

** Graduate School of Science, Tohoku University

*** Faculty of Science, Kagoshima University

Synopsis

A seismic observation was conducted at Kuchierabujima volcano, south off Kyushu, during the period from November 27, 2000 to March 18, 2001. We installed 5 seismic stations with 3-component seismometers and 3 seismic stations with short-period vertical seismometer (2Hz) around Shindake crater at the summit. Most of volcanic earthquakes observed at the volcano were high-frequency events with the spectra of 6-30Hz. The high-frequency events occurred at the western part of the Shindake crater with the depth of 100-400m. The epicentral area corresponds to the geothermal area at the western part of Shindake crater. The focal mechanisms of the high-frequency events were of normal fault type with east-west extension. These facts suggest that the high-frequency events were generated by shear fracture of rock in the geothermal area. Monochromatic events have a dominant spectrum peak at 8.0 Hz and have some sub-peaks at 1.1, 3.0, 4.8, 6.2 and some peaks higher than 10Hz. The amplitudes at the peaks of 1.1, 3.0, 4.8 and 6.2 Hz were attenuated slowly with lapse time from the initial motion. The energy at the peaks higher than 8 Hz was concentrated in the initial part of the events. It is inferred that higher frequency components of the events were reflected by repetition of high-frequency events, which acted as trigger to resonance of fluid body generating seismic waves with some peak frequencies lower than 7 Hz.

Keywords: Kuchierabujima, volcanic earthquake, high-frequency event, monochromatic event, hypocentral distribution, focal mechanism