

広帯域地震計でみた阿蘇火山の微動活動

山本 希¹⁾, 川勝 均¹⁾, 須藤 靖明²⁾, 金嶋 聡³⁾,
大倉 敬宏²⁾, 森 健彦⁴⁾, 高木 憲明³⁾

¹⁾ 東京大学地震研究所 ²⁾ 京都大学理学研究科 火山研究センター
³⁾ 東京工業大学 大学院地球惑星科学 ⁴⁾ 東京工業大学 火山流体研究センター

Broadband seismic observations at Aso volcano

Mare Yamamoto¹⁾, Hitoshi Kawakatsu¹⁾, Yasuaki Sudo²⁾, Satoshi Kaneshima³⁾,
Takahiro Ohkura²⁾, Takehiko Mori⁴⁾, Noriaki Takagi³⁾

¹⁾ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

²⁾ Aso Volcanological Laboratory, Kyoto University

³⁾ Tokyo Institute of Technology

⁴⁾ Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

はじめに

活動的な火山の周辺では、断層運動による通常の地震とは顔つきの異なる地震波がしばしば観測される。これらの地震波は、火山性地震・微動と呼ばれ、地下深部からのマグマ・熱水・水蒸気などの移動、火道内での発泡などの物理化学現象による振動と解釈されている。したがって、これらの火山性微動の発生メカニズムの解明することは、噴火予知のみならず、火山直下でのダイナミクスの理解にとって重要である。しかしながら、これまで数多くの火山で火山性微動の研究がなされてはいるが、その発生メカニズムは必ずしも十分にわかっているわけではない。その一因に観測機器による制約がある。火山周辺では従来、短周期地震計を用いた地震観測や、歪計・傾斜計といった測地学的観測が行なわれてきたが、これらの観測では、前者は1秒前後より短い時間スケール・後者は分オーダーより長い時間スケールの現象しかとらえることができず、数十秒オーダーの周波数帯の現象をとらえることが不可能であった。

我々はここ数年、周期約0.1秒から数百秒の帯域をカバーする広帯域地震計を用いて、この観測周波数帯の空白域をカバーする観測を行ってきた。広帯域地震計では、短周期・長周期すべての周期帯の信号を同時にとらえることができ、火山活動の全容をとらえられることができる。ここでは我々が、1994年から阿蘇火山で行ってきた広帯域地震観測によってとらえた阿蘇火山の活動について述べる。

阿蘇火山における火山性微動

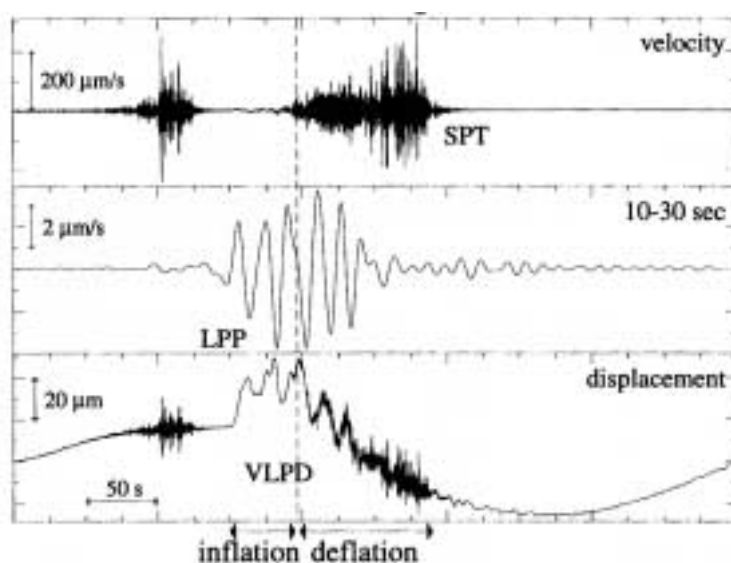
阿蘇火山は、九州中央部に位置するカルデラ地形と中央火口丘からなる複式火山である。中央火口丘のひとつ中岳は、北西-南東に直線状に並ぶ大小7つの火口からなり、現在は北端の第1火口で活発な噴気活動を行なっている。阿蘇火山においては、古くから火山性微動の研究が盛んに行なわれており、Sassa (1935) は、振動の周期に着目し、火山性微動を第1種から第4種まで分類を行なった。第1, 3, 4種の微動は周期1秒より高周波の波であり、第2種は3~7秒の長周期の波である。それぞれの微動

は、固有の周期を持つとともに、それぞれ特徴ある振動波形を持つものであり、表面的な噴火活動との関連も調べられてきた。また、これらの各種の微動は独立に発生するだけではなく、同期して発生することがあることも知られている。

広帯域地震計でみた火山活動

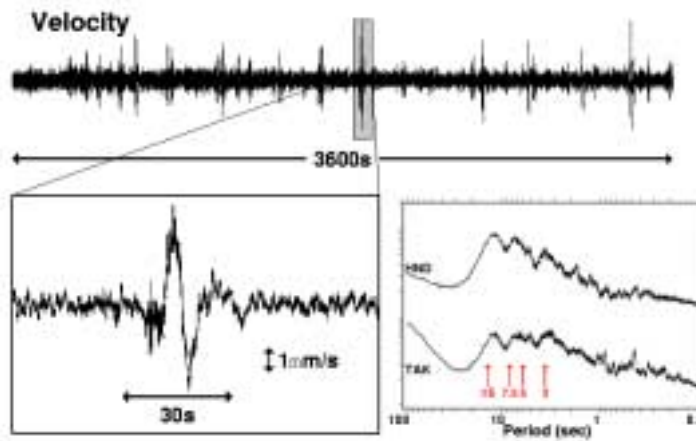
我々は、1994年から阿蘇火山において広帯域地震観測を行なってきた。以下では、我々の観測で明らかになったことを簡単に紹介する。

水蒸気爆発 1994年9～10月、中岳第1火口では、土砂噴出とよばれる小規模の水蒸気爆発が頻発した。下図は、土砂噴出の際の広帯域地震計による地震記録の例である。



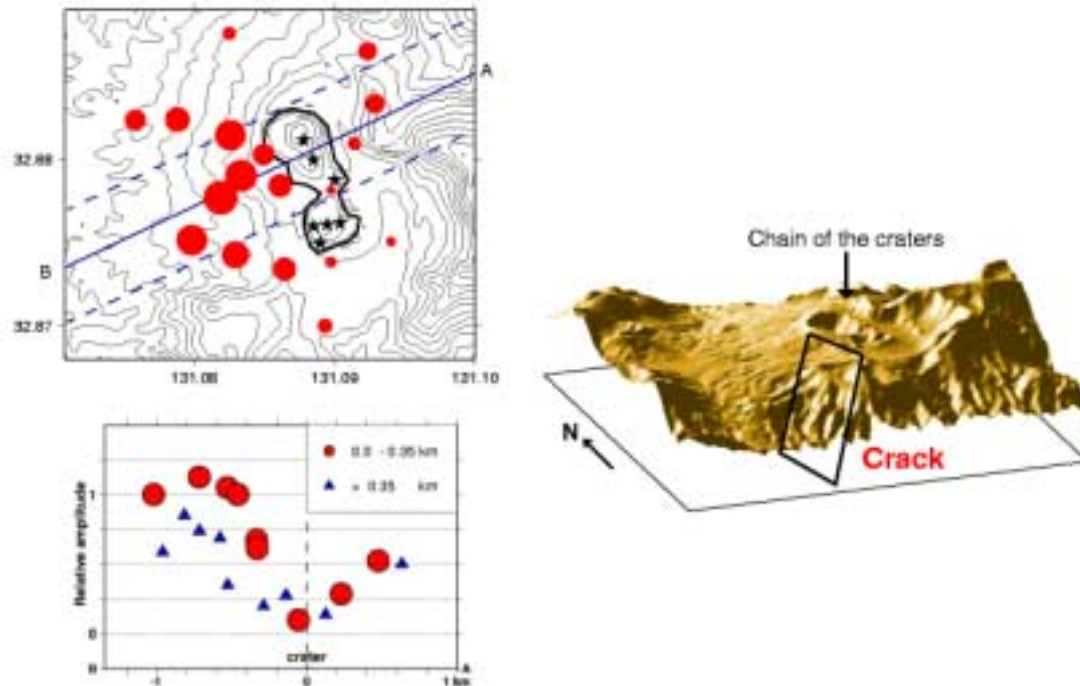
この記録からは、土砂噴出の50秒ほど前から地面がゆっくりと膨らみ、火口から土砂の噴出が始まると地面はしぼんでいき、土砂の噴出にともなって短周期の地震波が発生するという土砂噴出の一連の過程が生々しく見てとれる。地面の膨らみに対応した長周期のパルス(周期約20秒)は地下1～1.5kmで発生しており、地下での水蒸気・ガスの蓄積過程を表していると考えられる(Kanaeshima et al., 1996)。

長周期(周期15秒)微動 1994年の土砂噴出以降、阿蘇火山では目だった活動はなく、第一火口は全面水がたまる湯だまり状態が継続し、表面的な活動は第一火口南端での噴気活動に限られている。しかしこのような静穏期においても、阿蘇火山は常に基本周期15秒のゆっくりとした波を発生していることが、火口近傍での広帯域地震観測で明らかになった。下図は、10～30秒のバンドパスフィルターを施した広帯域地震記録とスペクトルの一例である。



この記録は第一火口が全面湯だまり状態である時期にとられたものであるが、断続的に数サイクルからなる孤立的な周期 15 秒の長周期微動がとらえられている。この長周期微動のスペクトルは、15 秒の基本周期の他に、7.5, 5, 3 秒にもピークを持ち、何らかの共鳴体の固有振動であることを示唆している。7.5, 5 秒の卓越周期は佐々の第 2 種微動に対応したものである (Kaneshima et al, 1996, Kawakatsu et al, 2000)。

我々は、この長周期微動の発生メカニズムの解明を目指し、1997, 1998 年に火口のごく近傍で高密度の広帯域地震観測を行なった。この観測の結果、長周期微動の振幅が空間的に大きな変化を示すことがわかり (下図左)、火口直下に地下約 2km から地表の噴気孔直下まで伸びるクラック状の振動源モデルでその空間パターンを説明できることが明らかにされた (下図右; Yamamoto et al, 1999)。

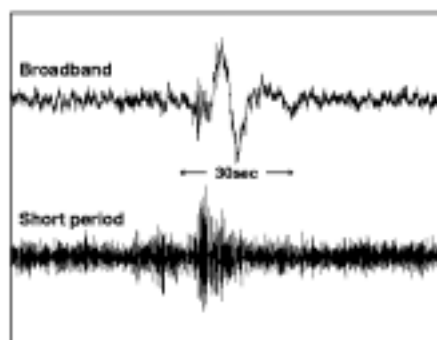


このクラック状振動源は、中岳の火口列とほぼ平行の走行・ほぼ同じ幅 (約 1km) のものであり、その

延長上に現在噴気活動を行なっている噴気孔が位置する。したがって、地下深部から地表の火口までをつなぐクラック状の火道が長周期微動の振動源と考えられる。また、Chouet (1986) は流体に満たされたクラックにおける遅い伝播速度を持つ波 (crack wave) の存在を示しているが、この阿蘇火山火口直下のクラック状火道にその理論を応用すると、15 秒という非常に長い固有振動の周期も説明が可能である。現在、このモデルを発展させ、非常に早い減衰といった観測事実とより調和的なモデルの構築が試みられている。

長周期微動と連動した短周期微動

一方、この長周期微動の発生に伴い、1-3Hz の短周期の火山性微動もしばしば観測される (下図)。



この短周期微動は長周期微動の開始にあわせて発生しているが、これまで両者の関係はほとんど明らかにされていない。そこで我々は、両者の関係を明らかにし、火口直下での微動発生メカニズムに制約を与えることを目指して、1998、1999年に短周期を用いたアレイ観測をおこなった。その結果、この短周期微動の震源は、第一火口の南西数百 m、深さ 500-600m であることが明らかにされた。この短周期微動の震源位置は長周期微動源であるクラック状火道の上端とほぼ一致し、両者の発生時刻の関係などから短周期微動が長周期微動のトリガーとなっていることが示唆される。さらに、1998年のアレイ観測と同時期に行なわれた人工地震構造探査観測網の記録を用いて決定された短周期地震のメカニズムの圧力軸は、クラック状火道の開口軸とほぼ一致し、このモデルを支持する (森, 2000)。

まとめ

我々は、これまで観測周波数帯の空白域となっていた周期帯の信号を広帯域地震計を用いてカバーすることにより、土砂噴出の発生過程・短周期から長周期までの広い周波数にわたる火山性微動をとらえることに成功した。また、高密度な観測を行なうことにより、火口直下の火道内の流体の運動も明らかになりつつある。我々の観測以後、阿蘇火山以外の火山でも阿蘇火山長周期微動と同様の長周期の火山性微動が発見されてきたが、これらの解析を通して、これまでとは違う視点から火山のダイナミクスを理解することができるようになると期待される。

参考文献

Chouet, B., Dynamics of a fluid-driven crack in three dimensions by the finite difference method, *J. Geophys. Res.*, **91**, 13967-13992, (1986).

- Kaneshima, S., Kawakatsu, H., Matsubayashi, H., Sudo, Y., Tsutsui, T., Ohminato, T., Ito, H., Uhira, K., Yamasato, H., Oikawa, J., Takeo, M., and Iidaka, T., Mechanism of phreatic eruptions at Aso volcano inferred from near-field broadband seismic observations, *Science*, **273**, 642-645, (1996).
- Kawakatsu, H., Kaneshima, S., Matsubayashi, H., Ohminato, T., Sudo, Y., Tsutsui, T., Uhira, K., Yamasato, H., D., Legrand, Aso94: Aso seismic observation with broadband instruments, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **101**, 129-154 (2000).
- Yamamoto, M., H. Kawakatsu, S. Kaneshima, T. Mori, T. Tutui, Y. Sudo, Y. Morita, Detection of a crack-like conduit beneath the active crater at Aso volcano, Japan, *Geophys. Res Lett.*, **26**, 3677-3680 (1999).
- Sassa, K., Volcanic micro-tremors and eruption-earthquakes (Part 1 of the geophysical studies on the volcano Aso), *Mem. Coll. Sci. Kyoto Univ. Series A*, **18**, 255-293, (1935).
- 森 健彦, 静穏期の阿蘇火山で発生する短周期火山性微動 HB-Tremor の震源メカニズム, 京都大学博士論文, (2000).