

地震波振幅の散乱特性に基づいた震源決定手法とその火山モニタリングへの活用

熊谷博之（防災科学技術研究所）

1. はじめに

火山活動の監視において、低周波地震や微動などの振動現象の発生場所を推定することは重要である。しかしながら、それらの走時を用いた震源決定は難しい。これは、位相の読み取りが困難であることや、多くの観測点がないと安定した解を求めることができないことに起因する。一方で、Battaglia and Aki (2003) は、高周波の振幅が振動現象の震源決定に有効であることを指摘している。さらに、Kumagai et al. (2010) は、この手法が地震波の散乱特性に基づいた手法であり、火山で起こる様々な振動現象に適用可能であることを示した。本発表では、Kumagai et al. (2010) に基づき、この手法の火山モニタリングにおける有効性を示す。

2. 手法

この手法では、低周波地震や微動の振幅を用いて観測値と理論値との比較からその発生源を推定する。Kumagai et al. (2010)では、Battaglia and Aki (2003)では考慮されていなかった地震波伝播に伴う走時の遅れを理論式に加え、各時刻の発生源の位置をより正確に求められるようにした。理論振幅としては、S波の等方輻射を仮定した。火山体内部と表面にノードポイントを配置し、各ノードポイントからの各観測点での理論値と観測値から残差を計算する。空間のグリッドサーチを行い最小残差の点を震源とする。各観測点のサイト増幅補正はコーダ波振幅を用いて行う。

3. 結果

この手法を、エクアドルのトゥングラワ火山に設置された5つの広帯域地震観測点で観測された爆発地震に適用した。解析する周波数を1-6, 3-8, 5-10, 7-12, 9-14 Hzと段階的に変え、さらに内部減衰を表すQ値を10~200の間でそれぞれの周波数帯で変化させ、最小残差の変化を調べた。その結果、コーダ波を用いたサイト増幅補正值を使わずに、すべての観測点で同様とした場合の5-10 HzとQ=60において残差が最も小さくなり、震源は火口に決まった(図1)。この周波数帯とQ値をもとに、トゥングラワ火山で発生した土石流による微動にこの手法を適用したところ、震源は土石流が下った谷に決まった。一方、他のQ値を用いた場合は、適切な場所に震源が決まらないという結果になった。

さらにこの手法をエクアドルのコトパキシ火山に設置された5つの広帯域地震観測点で観測された高周波成分を含む超長周期地震に適用したところ、サイト補正を用いた場合の7-12 HzとQ=60で最小残差となった。さらにその震源は、超長周期成分(3-10 s)を用いた波形インバージョンから決まった震源とほぼ同じ場所であった(図2)。

4. 議論

2つの異なる火山での、異なる現象による地震波形に適用したにも関わらず、同様の周波数帯と Q 値で残差が最小となるという結果が得られた。これは、振幅を用いた震源決定に適切な周波数範囲と Q 値がある可能性を示している。構造性地震の観測波形において、高周波では 4 象限型が崩れて等方的な振幅分布になるということが知られており（例えば、Liu and Helmberger, 1985）、この現象は散乱の効果で説明されている（例えば、Takemura et al. 2009）。今回の震源決定において、5 Hz 以上の高周波帯で残差が小さくなるという結果は、この散乱の効果で整合的に説明ができる。さらに Q 値は、Battaglia and Aki (2003) では結果に影響しないとされてきたが、残差が最も小さい Q 値を用いることで、より適切な震源位置が推定できることも分かった。

5. 結論

この手法は、従来震源決定が困難であった火山性振動現象の震源を、5つという比較的少ない観測点を用いても推定することができ、かつ自動化が容易である。トゥングラワ火山とコトパキシ火山の広帯域地震観測網からのデータには、自動化された本手法が適用されている。結果がノイズに影響されやすいという欠点はあるが、自動的に決定される震源位置は、観測された波形の解釈に大きく役立っている。特に噴火活動が活発化した時に、読み取りを必要としないこの手法は特に有効である。

6. 引用文献

- Battaglia, J. and K. Aki (2003): Location of seismic events and eruptive fissures on the Piton de la Fournaise volcano using seismic amplitudes, *J. Geophys. Res.*, 108, 2364, doi:10.1029/2002JB002193
- Kumagai, H., M. Nakano, T. Maeda, H. Yepes, P. Palacios, M. Ruiz, S. Arrais, M. Vaca, I. Molina, and T. Yamashina (2010), Broadband seismic monitoring of active volcanoes using deterministic and stochastic approaches, *J. Geophys. Res.*, 115, B08302, doi:10.1029/2009JB006889.
- Liu, H.-L. and V. Helmberger (1985): The 23:19 aftershock of the 15 October 1979 Imperial Valley earthquake: More evidence for an aperity, *Bull. Seism. Soc. Am.* 75, 689-708
- Takemura, S., T. Furumua and T. Saito (2009): Distortion of the apparent S-wave radiation pattern in the high-frequency wavefield: Tottori-Ken Seibu, Japan, earthquake of 2000, *Geophy. J. Int.*, 178, 950-961, doi:10.1111/j.1365-246X.2009.04210.x.

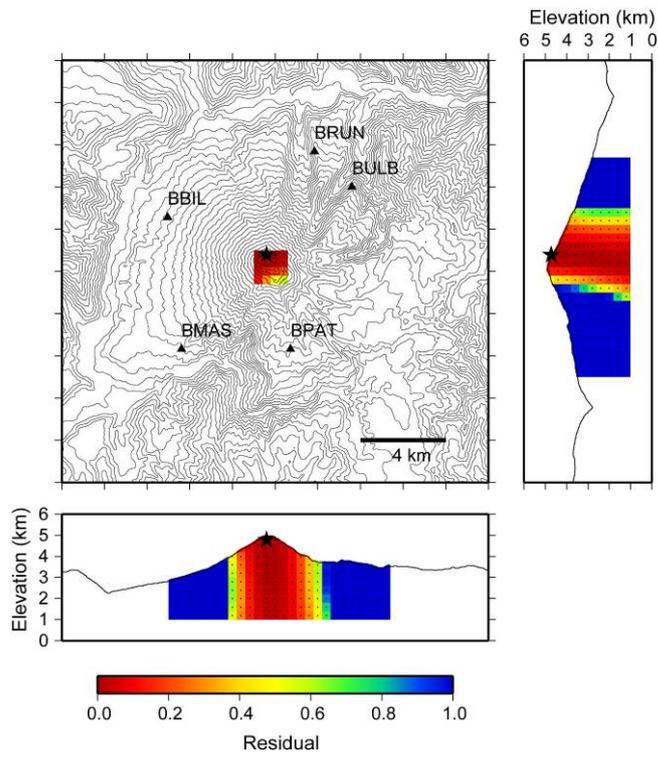


図 1. エクアドルのトゥングラワ火山で観測された爆発的噴火に伴う地震の高周波振幅（5-10 Hz）を用いた震源決定の結果。色は正規残差の分布，星は最小残差点，三角は観測点を示す。

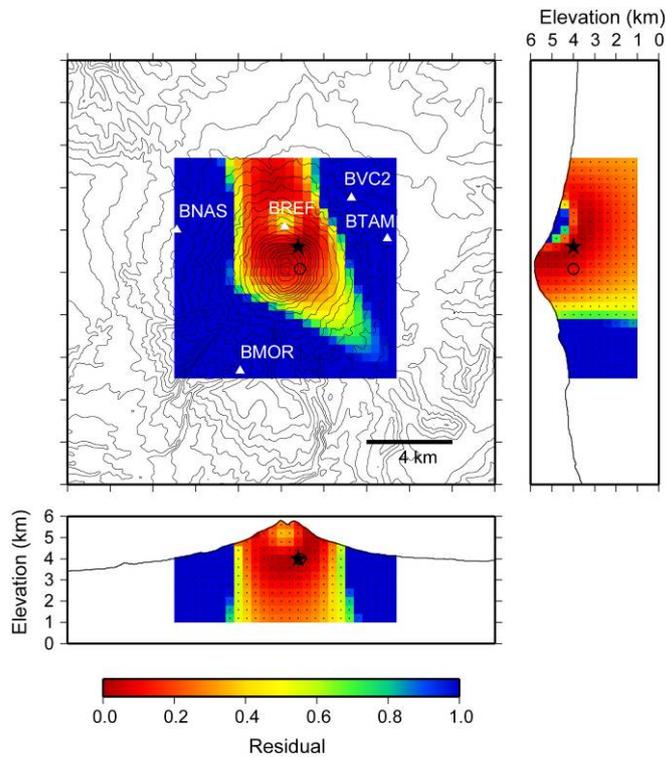


図 2. エクアドルのコトパキシ火山で観測された超長周期地震の高周波振幅（7-12 Hz）を用いた震源決定の結果。色は正規残差の分布，星は最小残差点，丸は超長周期成分（3-10 s）を用いた波形インバージョンにより決まった震源，三角は観測点を示す。