

## 火山におけるS波等方輻射：高周波地震波形シミュレーションによる検討

## Isotropic radiation of S waves at volcanoes revealed by numerical simulations of high-frequency scattered wavefields

\*森岡 英恵<sup>1</sup>、熊谷 博之<sup>1</sup>、前田 拓人<sup>2</sup>\*Hanae Morioka<sup>1</sup>, Hiroyuki Kumagai<sup>1</sup>, Takuto Maeda<sup>2</sup>

1.名古屋大学大学院環境学研究科、2.東京大学地震研究所

1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

火山は強い短波長不均質場をもっており、地震波は散乱の影響を強く受けて伝播することが知られている。多くの火山ではS波の等方輻射の仮定に基づいた高周波地震波振幅を用いた震源決定法（ASL法）が利用されている。S波の等方輻射は、散乱の効果によってS波が卓越し放射パターンが崩れ振幅が距離のみに依存するという仮定である。Kumagai et al. [JGR, 2011]は、ランダムな不均質媒質を用いた波形シミュレーションによって火山における散乱場の特性を調べたが、彼らが用いた不均質媒質ではASL法が適用できるほどの等方輻射にはならず、S波の等方輻射の仮定が散乱に起因するかは証明できなかった。その原因としては不均質の強さが十分でないことが考えられる。そこで本研究では、先行研究より強い不均質媒質を用いて波形シミュレーションを行い、S波の等方輻射の仮定が本当に散乱に起因しているのかを明らかにし、火山における波動場の特性について調べる。

波形シミュレーションには Maeda et al. [BSSA, 2013]によって開発されたSEISMを使用した。このプログラムコードは運動方程式の時間発展を差分法で解いて波動場を計算しており、時間発展は2次精度、空間微分は4次精度で差分化する。粘弾性体モデルにより3次元のQ構造を考慮でき、また地形と3次元地下構造も考慮できる。

シミュレーションにはタール火山（フィリピン）の地形を用いた。計算範囲はタール火山を含む13x17x5 kmで、空間グリッドサイズは10 m、時間刻み幅は $5 \times 10^{-4}$ 秒とした。震源位置は計算範囲の中心におき、横ずれ型のメカニズムを用いた。不均質媒質はvon Karman型のパワースペクトル密度関数で表される3次元のランダム媒質を用いた。このランダム媒質は、速度ゆらぎの大きさ $\varepsilon$ 、相関距離 $a$ 、ゆらぎの短波長成分の量を定める $\kappa$ の3つのパラメータで特徴付けられる。今回は $\kappa = 0.5$ で一定とし、 $a = 50-1000$  m、 $\varepsilon = 0.05-0.2$ の範囲の値を用いた。なお、速度ゆらぎの下限は1500 m/sとし、上限は安定条件に基づいた速度で打ち切りを行った。ランダム媒質はそれぞれのパラメータにおいて乱数のシードを変えて複数回シミュレーションを行った。 $a$ と周波数が一定の場合、合成波形は $\varepsilon$ が大きいくほどコーダ波持続時間が長くなる傾向にあった。さらに、4つの周波数帯（0.2-2, 1-6, 3-8, 5-10 Hz）で振幅の放射パターンを調べた結果、 $\varepsilon = 0.05$ では高周波数帯でも4ローブのパターンが残っているのに対し、 $\varepsilon$ が強くなるにしたがって放射パターンが崩れていく様子がみられた。

実際にタール火山に設置されている6点の観測点に対応する合成波形を用いて、ASL法で震源決定を行い、どのパラメータの場合に震源位置の推定ができるかを調べた。 $a = 50$  mの場合で周波数を変えて震源決定を行ったところ、 $\varepsilon = 0.05, 0.1$ ではどの周波数の場合でも真の震源位置との差は6-7 kmほどになり、震源付近には決まらなかった。一方、 $\varepsilon = 0.2$ の場合は、高周波になるに従って真の震源位置との差が徐々に小さくなり、5-10 Hzにおいて震源に近い場所に決定することができた。波数 $k$ と相関距離 $a$ との関係で考えると5-10 Hzでは $ka \sim 1$ であり、ASL法が適用できるのは波長と相関距離がほぼ等しく $\varepsilon = 0.2$ 程度の強い不均質場であることを示している。今回のvon Karman型のランダム媒質において $ka = 1$ 、 $\varepsilon = 0.2$ の場合に散乱係数から平均自由行程を見積もると約1500 mとなった。火山の平均自由行程は約1000 mと推定されており[例えばYamamoto and Sato, JGR, 2010]、本研究では実際の火山に近い強い散乱場を再現している。ASL法はこのような強い散乱場において適用でき、火山におけるS波の等方輻射が散乱に起因するという仮説を本研究は支持している。

キーワード：散乱、火山、S波等方輻射、ASL法、差分法

Keywords: Scattering, Volcano, Isotropic radiation of S waves, Amplitude source location method,  
Finite-difference method