

広帯域地震観測による活火山流体系の解明

山本 希 (東京大学地震研究所)

Volcanic fluid system inferred from broadband seismic signals

Mare Yamamoto (Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

1. はじめに

活火山周辺では、火山性微動と呼ばれる通常の断層運動とは様相の異なる地震が観測される。火山性微動は、マグマや熱水・火山ガスといった火山性流体の運動と密接な関係があると考えられており、その発生場所・発生メカニズムを解明することは、火山現象の理解・噴火予知の両面において重要である。火山性微動の振動源の解明においては、観測データを詳細に解析することによりその場所・力源を特定していくアプローチと、その震源域で働いている物理過程をモデリングするアプローチの二つが考えられる。本研究では、活火山直下での火山性流体の挙動そして火山性流体・火山体相互作用の場としての火道システム全体の振舞いを解明することを目標とし、主に阿蘇火山で地震観測・解析を行うとともに、その発生モデルとして流体を含む亀裂の運動を数値計算により再現し、それを観測された火山性微動への応用を行った。

2. 境界積分法による Fluid-filled crack モデルの計算

火山性微動の波形は、その発生場所・発生時期の違いなどにより多彩な様相を見せるが、(1)比較的低周波成分に富む、(2)スペクトルに明瞭なピークが見られる、といった特徴を示すことが多い。これらの特徴は、火山体直下での共鳴体の存在を示唆するものであり、これまでに球状・円柱状など数々の共鳴体モデルが立てられてきた。その中でも最もよく観測波形の特徴を説明するものとして、Chouet (1986)によって提唱された流体を含む亀裂(Fluid-filled crack)モデルがある。このモデルは、これまで多くの火山における火山性微動の解釈に用いられ、火山性微動の振動源モデルとしてひとつのスタンダードとなっている。

Fluid-filled crack の振動の様式は、その亀裂の形状・亀裂内外の物性によって大きく変化する。近年この特性を利用し、観測された微動波形の周波数・減衰(Q 値)から亀裂内流体の物性を見積もる試みが行われ始めた。しかし、従来用いられてきた時間領域差分法による計算方法には、減衰(Q 値)の定量的評価の難しさや計算の安定性・効率など広い物性パラメータレンジにわたる網羅的な研究を行う際の問題点があった。

そこで本研究では、周波数領域の境界積分法を用いた Fluid-filled crack モデルの計算方法を開発した。幅広い流体物性のレンジの対し安定かつ効率よく計

算を行うために、本研究では固体・流体両領域の運動を亀裂面変位の関数(積分方程式)として表し、亀裂面上での応力境界条件を満たす亀裂面変位を決定するという方法を用いた。亀裂面変位は、亀裂面変位を第2種チェビシェフ多項式で展開し、その展開係数を亀裂面上での境界条件から選点法を用いて決定した。

本手法の利点としては、複素周波数領域で計算を行うため減衰(Q 値)を複素固有周波数から正確に決定することが可能であることや、複素亀裂面変位を媒介とし固体・流体それぞれの領域を独立に解くため、振動特性の流体の物性依存性などを調べる際に固体側の再計算が不要であり効率的に網羅的な計算を行うことが可能であることなどがあげられる。また、数値計算の結果、従来用いられてきた時間領域時間差分法による減衰(Q 値)の見積もりには計算手法に起因する誤差が含まれていることも明らかになった。

3. 阿蘇山火山性微動への新手法の応用

阿蘇火山では、古くから多様な火山性微動の存在が知られてきた。さらに近年、広帯域地震計を用いた観測により、表面的な活動に関わらず断続的に周期約15秒の長周期火山性微動が発生していることが明らかにされた。この長周期微動は、非常に減衰の早い孤立的な波形をしており、そのスペクトルはほぼ規則正しく並んだ倍音を含んでいる。これらの特徴は火口直下の共鳴体の存在を示唆するが、我々は、稠密な地震観測の結果その振動源モデルとして火口直下の亀裂状火道システムの存在を明らかにしてきた。本研究ではさらに、この長周期微動に同期して発生する卓越周期1~2秒の短周期微動についても集中的な観測を行い、地形・速度構造を考慮した波形解析を通じ、その振動源が長周期微動源亀裂の上端付近における円筒状の力源であることを明らかにした。

亀裂状の長周期微動源・その上端付近の円筒状短周期微動源は、地下深部から地表までの物質・エネルギーの流路の存在をイメージさせるが、前述の境界積分法による計算手法を用い、幅広いパラメータレンジにわたって亀裂振動の特性を網羅的に検討した結果、長周期微動源としてガスと若干の粒子で満たされた厚さ約25mの亀裂によって観測される長周期微動の特徴を再現可能であり、さらにその亀裂の運動による流体の運動によって短周期微動の発生過程を定量的に説明できることが明らかになった。

4. まとめ

本研究では、平穏時の阿蘇火山において観測される幅広い周波数の火山性微動の詳細な解析を行い、新たに開発した境界積分法を用いた **fluid-filled crack** モデルの計算結果と比較検討することにより、従来個々に研究されてきた異なる周波数帯の火山性微動が、火山直下の火道システムにおける流体の運動で统一的に説明できることを明らかにした。これらの結果は、活火山における物質輸送・流体システム全体の理解に、新たな所見を与えるものである。

本研究で開発した手法は、媒質の非弾性を含む問題など数々の応用問題に応用すること可能であり、今後は亀裂中の気泡の影響や多孔質媒体でできた亀裂などより発展した問題への応用を行い、固体・流体の相互作用系としての火山システムの理解を進めていきたい。

参考文献

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

Sudo, Y. and L. S. L. Kong, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Aso Volcano, Kyushu, Japan, *Bull. Volcanol.*, 2001, 63, 326-344

Tsutsui, T. and Y. Sudo, Seismic reflectors beneath the central cones of Aso Volcano, Kyushu, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 2004, 131, 33-58

Yamamoto, M. et al., Detection of a crack-like conduit beneath the active crater at Aso volcano, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 1999, 26, 3677-3680

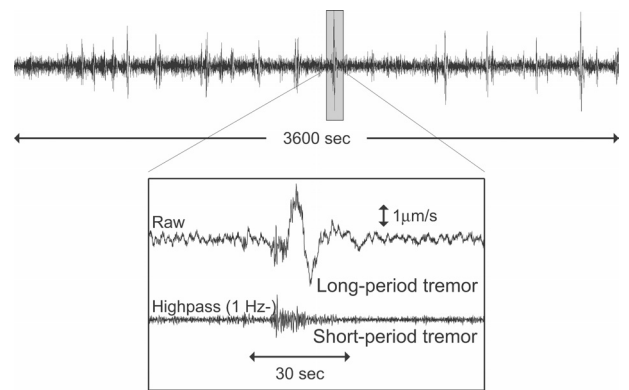


図1: 阿蘇火山での広帯域地震記録の例

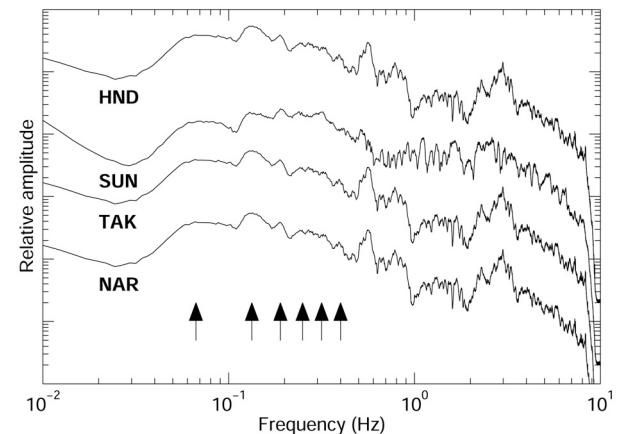


図2: 広帯域地震記録のスペクトル例。

長周期微動(周期 15 秒)のスペクトルを強調するために10分長のスペクトルを2日分スタックしたものの。

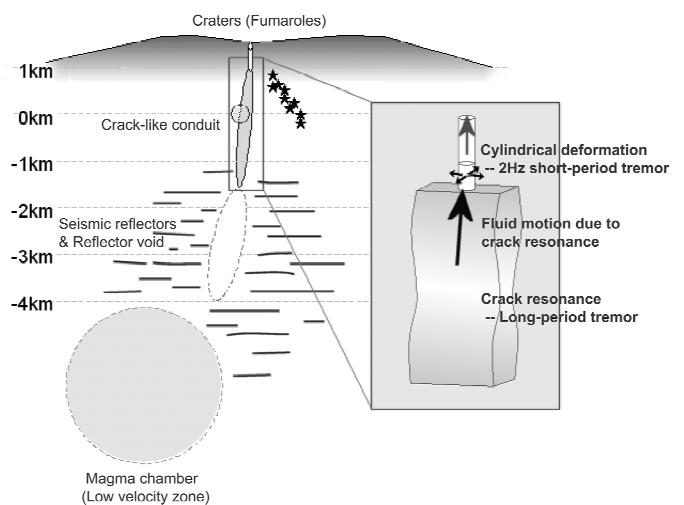


図3: 阿蘇火山直下の火道システムの概念図。

阿蘇火山では、これまでに地震学的手法によりマグマ溜り (Sudo and Kong, 2001), 地震波反射帯空白域 (Tsutsui and Sudo, 2004), 亀裂状火道 (Yamamoto et al., 1999) という地下深部と地表を結ぶ火道システムの存在が明らかにされている。本研究では、短周期微動 (2Hz) の波形解析と長周期微動 (15 秒) の微動源モデリングを通じ、火道システム全体の運動の中での微動の位置付けを明らかにした。