

## 要約

火山で発生する低周波地震の発生過程に関する研究

Triggering processes of long-period events observed at active volcanoes

名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻 田口 貴美子

火山で発生する地震の観測はその活動推移の予測や噴火過程の理解に用いられ、火山活動監視に役立てられている。こうした地震のうち低周波地震(long-period (LP)イベント)は熱水割れ目やダイクといった振動体中で短時間での流体の圧力変化により励起されると考えられており、振動体のサイズや流体特性に依存した周波数や  $Q$  値での減衰振動を示す。LP イベントの中には噴火に先立ち観測されたものもあることから、この地震の解析は流体の状態を推定し火山浅部での噴火準備過程を解明するうえで重要である。

LP イベント震源の振動体としては流体を含む固体中板状割れ目のモデル(クラックモデル)がよく用いられている。この振動体の形状や流体特性はクラック固有振動の数値計算により得られる地震波形の  $Q$  値やスペクトルピーク周波数を観測波形のものと比較することで推定されてきた。しかし数値計算ではクラックサイズと流体特性を同時に推定するには時間がかかるうえ  $Q$  値が大きいほど数値不安定を起しやすいためという問題があり、流体の状態を定量的に推定することができなかった。さらに振動体サイズと流体特性の同時推定ができないことで、クラック固有振動を励起する圧力変化の制約もできず LP イベントの発生過程の理解は進んでいなかった。

こうした問題を解決するため、本研究ではまず(1)クラックサイズと流体特性を同時に推定する手法の確立を行い、その手法を LP イベントに適用した結果に基づき(2)観測スペクトルを説明する励起の推定を行った。そして(1)(2)で推定したクラックサイズや流体特性および励起に基づき、(3) LP イベント発生過程の解釈を行った。

まず(1)については、先行研究により非粘性流体を含むクラックの固有周波数の解析式が提唱されている。そこでこの解析式により計算される周波数を観測スペクトルピーク周波数との比較に用いることでクラックサイズと流体特性を同時に推定する手法を開発し、草津白根山で 1992 年から 1993 年、コロンビアのガレラス山で 1993 年に観測された LP イベントに適用した。このとき草津白根山およびガレラス山で観測された LP イベント震源の振動体中の流体として、それぞれ小さな水滴を含む水蒸気(ミスト状ガス)および小さな火山灰を含む水蒸気(ダスト状ガス)を仮定した。その結果推定されたクラックサイズと流体特性は数値計算を解析に用いた先行研究と類似した値を示したほか、新たにクラックサイズと流体特性は同時に時間変化を示すことがわかった。さらにクラックサイズと流体特性の関係を調べたところ、ミスト及びダストの体積( $V_{mist}$ 、 $V_{dust}$ )はクラック厚さ( $d$ )と長さ( $L$ )、もしくは幅( $W$ )の積( $Ld$ 、 $Wd$ )に比例することがわかった。

しかしこの推定においては、観測波形とクラック固有振動波形の  $Q$  値の比較に数値計算を用いているため、 $Q$  値が大きな LP イベントの解析では数値不安定を起こしクラックサイズと流体特性を同時に推定できないという問題点は残ったままであった。この問題は数値計算を用いずにクラック固有振動波形の  $Q$  値を計算できれば解決することができる。そこで数値計算により得られる固有振動波形の  $Q$  値とクラックモデルのパラメータの関係を調べ、 $Q$  値の経験式の導出を試みた。このとき数値計算により波形を計算できない大きな  $Q$  値は計算可能な  $Q$  値から外挿した。すると目的とする経験式は、クラック長さ $l$ と幅 $w$ の比( $l/w$ ) およびクラック内外の速度比の 2 つのパラメータで表されることがわかった。この経験式を草津白根山で 1992 年から 1993 年、ガレラス山で 1993 年に観測された LP イベント波形の  $Q$  値との比較に用いたところ、クラックサイズや流体特性は数値計算を用いたときと同様の推定結果を示した。さらにこの経験式を用いた手法を、ガレラス山で 2006 年から 2007 年に観測された大きな  $Q$  値を示す LP イベントに適用した。流体としてダスト状ガスを仮定したところ、クラックサイズと流体特性は同じ火山で 1993 年に観測された LP イベントのものと類似した時間変化を示すほか、 $V_{dust}$  と  $Ld$ 、 $Wd$  も比例することがわかった。

こうして(1)により、クラックサイズと流体特性の同時推定だけでなく複数の観測スペクトルピーク周波数に対するクラック固有振動モードの同定も可能になった。こうした振動モードはクラックで圧力変化が起きる位置により変化することから、励起を推定するうえでの制約条件となる。そこで(2)において、まず観測スペクトルピーク周波数に対し同定された固有振動モードの特徴を調べた。すると最低次および二番目に低次の観測スペクトルピーク周波数に対し同定される振動モードは草津白根山、ガレラス山で 1993 年および 2006 年から 2007 年に観測された LP イベントで異なることがわかった。これに基づき固有振動を励起する流体の圧力変化が起きた位置を調べたところ、草津白根山で観測された LP イベントに対してはクラック端での圧力変化が推定された。一方ガレラス山で 1993 年に観測された LP イベントに対してはクラック端から長さの 8 分の 1、2006 年から 2007 年に観測された LP イベントに対しては 4 分の 1 の位置での圧力変化が推定された。なおいずれの LP イベントでも圧力変化はクラック幅全体にわたるものと推定された。

以上(1)(2)の結果に基づいて、(3)LP イベント発生過程は以下のように解釈できた。草津白根山では浅部のクラック中へ脱ガスした水蒸気の一部が端から凝縮したことに伴う圧力減少、ガレラス山では火道上部にある鉛直クラックへ貫入した発泡マグマの上端が破碎したことに伴う圧力増加によりクラックの固有振動が励起され、LP イベントとして観測された。水蒸気の脱ガスやクラックへの貫入に関わるマグマの量やその発泡度が変化していくことで、クラックサイズと流体特性も時間変化を示した。

上記のように振動体がクラックと仮定できる場合、本研究で確立した LP イベントの解析手法は複数の観測スペクトルピーク周波数に対する固有振動モードの同定を行い、震源クラックのサイズと流体特性の同時推定や LP イベント発生過程の解釈を可能にする。国内外の火山で活動活発化に伴いクラックの振動に関連して発生したと考えられる LP イベントが

観測されており、本研究の手法はこうした火山での流体の状態のモニタリングや浅部における噴火準備過程の理解に役立てることができる。