

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740327

研究課題名(和文)活火山浅部における短波長不均質構造の地震学的研究

研究課題名(英文)Seismological study on the small-scale heterogeneity beneath active volcanoes

研究代表者

山本 希(Yamamoto, Mare)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30400229

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：活火山浅部における短波長構造不均質は、ダイク貫入や火道からの脱ガスといった火山性流体の挙動を支配するものであるが、その実態は解析手法の制約などにより明らかではなかった。そこで本研究では、これまで国内活火山における人工地震探査記録を用いて短波長不均質性の系統的な定量化を行い、いずれの火山においてもS波の平均自由行程が約1kmであり、P-S変換が卓越することを明らかにした。また、散乱波動場の数値モデリングを行い、この強い不均質性が活火山浅部に局在した流体を含む亀裂等の介在によるものである可能性を示した。これらの結果は、火山構造・多様な火山現象を理解するための新たな鍵になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Volcano is one of the most heterogeneous field in the Earth's crust, and the understanding of such inhomogeneity in volcanoes may provide us important information on the various volcanic processes.

In this study, I systematically estimate the scattering properties of high-frequency seismic waves using the records of active seismic experiments at active volcanoes in Japan, and reveal that the mean free paths of S wave are as short as about 1km for 8-16Hz band at most of the volcanoes. I further conducted numerical simulation of wave scattering in strongly heterogeneous media, and suggest that fluid-filled cavities concentrated at the shallow portion of volcanic edifice are possible cause of the observed short mean free path.

These results suggest that the mode conversion and multiple scattering have an indispensable effect in the modeling and analysis of seismic wave propagation in heterogeneous volcanic environments.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：火山 短波長不均質構造 火山構造探査 波動 散乱

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 活火山内部における火山性流体(マグマ・火山ガス)の存在・運動は、噴火様式や火山性地震・微動の発生様式を支配する最も重要な鍵のひとつである。そのような視点から国内外において直達波走時を用いた地震波トモグラフィなどにより火山直下の地震波速度構造の解析が精力的に行われており、ダイク貫入に対応した火口直下の高速度領域の検出などの成果が挙げられてきた。しかしながら、従来の走時解析においては解析に用いる地震波の波長より微細な構造の議論は困難であり、例えば、なぜそのような固結した領域にダイクが繰り返し貫入しうるかといった問題に答えることは不可能であった。

(2) このようなダイク貫入は固結領域内より微細な破碎・亀裂といった短波長不均質構造に強く支配されていると考えられるが、一方で短波長不均質構造は高周波地震波の散乱を引き起こし、多重散乱波により構成されるコーダ波を形成する。このような多重散乱波は不均質の特性に敏感であり、流体・亀裂の分布の情報を多く含んでいるため、イタリアなど他の火山国においては火山性地震の解析などへの応用が進められてきている。しかしながら、国内における研究例は多くはなく、これまでの火山人工地震探査記録を用いた系統的な研究もなされていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、噴火予知計画のもとでこれまで国内の活火山で実施されてきた火山人工地震探査記録を用いた短波長不均質性の系統的な定量化し、その比較を行うとともに、高密度アレイ観測の独自実施による波動場のモード分離と波動場構成の検討・流体を含む介在物分布など短波長不均質が波動特性に及ぼす影響等の火山における地震波伝播の理解に重要な波動現象素過程の数値モデリングを行う。

これらの研究により、活火山浅部における火山性流体の分布などをより定量的に明らかに出来るとともに、散乱減衰・内部減衰の分離が可能となるため流体の影響の議論をより明確に行えるようになり、火山現象を物理的により一層明確に理解することが可能となり、活火山流体系・火山活動の物理的理解に大きな貢献となることを期待される。また、火山浅部における短波長不均質(確率論的構造)を高周波地震波を用いてイメージングし、従来の走時トモグラフィなどによる決定論的構造とあわせ、新たな火山浅部の構造観を創出する基礎を築くことを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 既存の火山人工地震探査データの系統的解析による地震波散乱・モード変換特性の定量化:

本研究では、まずこれまで行われてきた国内活火山における人工地震構造探査のデータを用いて複数の火山における地震波エネルギー伝播の時空間分布を精査し、浅部不均質構造による地震波散乱・モード変換の特徴を抽出・整理する。また、多重散乱モデルに基づいた不均質性の定量化を行い、これまでに得られている走時解析による決定論的速度構造・地質学的構造と比較・検討を行う。これらの系統的な研究により、活火山浅部の短波長不均質性の代表的な特徴および各火山固有の特性を明らかにする。

(2) 地震波アレイ観測による地震波散乱・モード変換の観測的実証:

既存データの解析とあわせ、高密度アレイ観測を実施し、波動場のモード分解によりP波/S波のエネルギー比やエネルギー等分配への遷移過程などを観測によって捉え、地震波散乱・モード変換の異なる側面からの観測的実証を行う。

(3) 数値計算による散乱素過程・波動場のモデリング:

3次元差分法・モンテカルロ法を用いて、地震波散乱に対する自由表面や地形の影響を検討するとともに、より現実的な流体亀裂群による非等方散乱などをモデリングし、火山における散乱現象の素過程の検討を行う。また、これまで得られている決定論的速度構造を取り込んだ波動場モデリングを行い、火山浅部構造による観測波形の再現を試み、その可能性・限界を明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) 国内の主要な活火山において実施されてきた人工地震構造探査の稠密観測記録を用いて地震波エネルギー伝播の時空間分布を調べ、多重散乱モデルとのフィッティングを通じてP波・S波間のモード変換・各モードの多重散乱を決定する散乱パラメータの定量化を行った。浅間山における研究代表者の先行研究(Yamamoto and Sato, 2010)と同様の手法を用いて、阿蘇山・桜島・岩手山における人工地震探査記録を解析した結果、いずれの火山においても8-16Hz帯におけるS波平均自由行程は約1kmと短く、その伝播過程においてP-Sモード変換が卓越することを明らかにした。この結果は、通常の地殻に比べて短波長不均質性が2桁近く強いことを示し、マグマ貫入・火山性流体の挙動等によって火山体の短波長不均質性が発達していることを示唆する(図1)。また、これらの結果は、短波長不均質性の強い火山体における地震波動伝播においてモード変換と強い多重散乱が重要なファクターであり、地震波伝

播モデリング・波動解析において不可欠な要素であることを示すものであり、今後の火山構造の地震学的研究に示唆を与えるものである。

(2) 上述の波動伝播の時空間分布に基づいて得られた散乱パラメータの妥当性の検証には、独立した手法によるP波/S波のエネルギー分配・エネルギー等分配の遷移過程などの観測的実証が必要である。そこで、桜島で独自実施した小規模3成分地震計アレイ観測の解析を進めるとともに、比較のために非火山地域においても同様の地震計アレイ観測を実施した。その結果、通常的地殻(非火山地域)においては、震源からのエネルギーのモード変換が比較的長時間かけて起こりP波・S波のエネルギー比が平衡値に達していくのに対し、活火山では、P波初動到達直後からエネルギー等分配への遷移が起こり、局所的なエネルギー等分配が短時間で成立することが明らかにした。この解析から得られた火山浅部におけるP-S散乱係数は、前述のエネルギー伝播の時空間分布によって推定された値と整合的であった。この結果は、散乱パラメータの推定方法の妥当性を確認するとともに、近年精力的に研究が進められている地震波干渉法のようなエネルギー等分配を前提とする解析方法への重要な示唆を与えるものである。

(3) 3次元差分計算を用いた不均質媒質中における波動場の計算を行い、無限媒質における多重等方散乱モデル解析解との比較を通じて、これまで用いられてきた理論モデルの適応妥当性・散乱の非等方性の影響・地表面の効果、それらの周波数依存性について検討を行った。これらのモデリングにより、地表面の存在によるエネルギー等分配状態の差異や、非等方散乱によって生じる直達波到達時刻近傍におけるエネルギー比の挙動等を明らかにすることが出来、今後の解析手法の高度化に向けた知見を得ることが出来た。さらに、これらの検討の過程において、研究代表者がこれまで進めてきた流体を含む亀裂における境界波・振動現象といった波動現象の素過程についても従来以上に解析的な定式化を行うことが出来、現象の支配パラメータを整理しより明確な物理プロセスの記述が可能となった。また、このような波動現象素過程の検討とともに、より現実的な解析手法・構造の構築を目指して、地震波トモグラフィによって先行研究で得られている決定論的な大局的地震波速度構造に様の短波長不均質性を重畳させ、観測波形の特徴の再現を試みた。その結果、空間一様の不均質性を仮定した場合には、観測された非コヒーレントと波群のエンベロープの特徴を説明することは難しく、火山体の浅部に不均質性の局在が必要であること等が明らかとなった。

(4) 以上のように、国内活火山における短波長不均質性の推定を人工地震探査記録の系統的解析を通じて行うとともに、地震波散乱現象の素過程の数値モデリングを進めることにより、火山活動によって形成された強い短波長不均質性得られた強い不均質性が活火山浅部に局在した流体を含む亀裂等の介在によるものである可能性を示すことが出来た。これらの結果は、火山構造・多様な火山現象の理解に重要な示唆を与えるものであり、今後の火山研究・波動論の発展に貢献するものと考えられる。

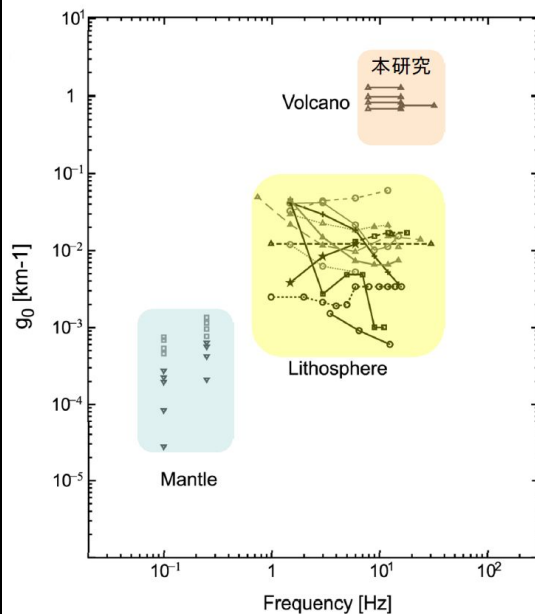


図1. 本研究で得られた活火山浅部の不均質性と先行研究による地殻・マンタルの結果との比較。人工地震探査・地震計アレイ解析によって推定されたS波の平均行程は、いずれの火山においても1 km程度であった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計4件)

山本希、八甲田山における長周期地震：活動様式と発生機構、日本火山学会2013年秋季大会、2013年9月30日、福島。

M. Yamamoto, T. Ohkura, S. Kaneshima, and H. Kawakatsu, Temporal change of volcanic fluid system beneath Aso volcano, Japan as inferred from seismological observations, 8th Internal workshop on volcanic lakes, 2013年7月26日、熊本。

山本希、有限長流体亀裂振動に関する一考察、日本地球惑星科学連合2013年大会、2013年5月19日、千葉。

山本希、発生時期の離れた相似深部低周波地震、日本火山学会2012年秋季大会、2012年10月15日、長野。

〔図書〕(計1件)

H. Kawakatsu and M. Yamamoto, Elsevier  
社, 'Volcano Seismology' in 'Treatise  
on Geophysics', 2014, 印刷中.

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本 希 (YAMAMOTO, MARE)

東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 30400229