

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800244

研究課題名(和文)地震波動場の相反定理を用いた活火山火道の詳細イメージング

研究課題名(英文)Imaging conduit of active volcanoes using reciprocity theorem

## 研究代表者

青木 陽介 (Aoki, Yosuke)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：90376624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年、雑微動を用いた地震波干渉法により、地震や火山活動にともなう地震波速度変化を求める研究が盛んに行われるようになった。本研究計画では、2011年東北地方太平洋沖地震にともなう地震波速度変化の空間分布を求め、地震にともなう地震波速度変化が静的・動的応力変化とは必ずしも相関せず、火山地域において速度変化が大きいことを見出した。さらに、静的・動的応力変化と地震波速度変化の関係について理論的考察も行った。

研究成果の概要(英文)：Recent emergence of seismic interferometry using random signals allows us to delineate temporal changes of seismic velocities associated with earthquakes and volcanic activity. During this project, we delineated shallow seismic velocity changes associated with the 2011 Tohoku-oki earthquake to find that seismic velocity changes do not correlated with neither static nor dynamic stress changes. Instead, velocity changes tend to be larger around active volcanoes. We also discussed briefly the origin of seismic velocity changes from theoretical point of view.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：地震波干渉法 地震波速度変化 非線形弾性

## 1. 研究開始当初の背景

マグマの通り道(火道)は通常数10から100メートルほどの直径を持つ円筒状のものが仮定され、その仮定のもと、火道を流れるマグマについて様々な数理モデルが提案され、観測と整合的であろうという努力もされている。このことは火道の形状を遠投とすることが良い近似であることを示しているが、火道が遠投であるということは必ずしも自明ではない。掘削調査からは、火道はむしろ板状であるという提唱がなされている。掘削調査は火道の様子を直接見ることができるが掘削地点の構造しかわからないために、地震波により、より広い範囲での火道の構造を明らかにすることが期待される。

地震波は地下構造を研究するのに有力な手段であるが、マグマの通り道である火道スケールの付近を検出できることはまれである。しかし、火道の形状を正確に明らかにすることは、マグマ上昇のメカニズムを理解する上で非常に重要なことである。火道のような10-100mスケールの地下構造の研究は断層帯のイメージングや深発地震発生域のイメージングに用いられた例はあるが、地震や観測点の分布が十分密でないことから、望むような小さなスケールでのイメージングはできていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、活火山の火道域において地震が密に発生していることを利用し、また、震源と観測点の位置を入れ替えても同じ波動場が得られるという地震波の相反性を用いて火道域の地震波速度構造を明らかにする手法を提案する。本研究計画の最大の特徴は、活発な地震活動があり稠密な地震観測網を持つ活火山の火道をかつてない空間分解能でイメージングするという点である。本研究計画によって期待される成果の主なものは、今までに得られていなかった火道の詳細な構造が明らかにされ、火山性地震の発生と地下構造の関係について理解が進むこと、および震源決定手法の高度化である。

## 3. 研究の方法

本研究で提案する手法は、震源と観測点の1を入れ替えても同じ波動場が得られるという性質を利用したものである。そのため、あたかも地上で発生した地震を地中の観測点で観測するような波動場を得ることができる。観測される地震波のコーダ部分は地下の不均質構造によって散乱された地震波であり、震源位置の情報を失っていることから、波線の近くにあるいくつかの観測点について2つの地震のコーダ部分の相互相関をとってスタックすることにより、2つの地震の間

を伝わる地震波動場を抽出する。本研究計画では、この手法を充実した地震観測の行われているいくつかの火山の地震記録に応用する。

## 4. 研究成果

本研究計画の遂行にあたり、研究計画において提唱していた手法では、火道のような詳細な構造を明らかにすることはできないことがわかった。原因は主に震源位置の不正確さであり、今後の研究計画では、火山性地震の震源決定について、より洗練された手法開発が必要となる。

しかし、本研究計画の遂行によりいくつかの副産物が得られた。一つは、地震動を記録するデータロガーに機械的な不都合があることである。データロガーは収録された地震動の正確な時刻を記録するために時刻校正を随時行っているが、その時刻校正にあたり、あたかも小さな地震動が発生しているかのような記録が得られることが明らかになった。このことは、地下で発生した地震の地震記録を用いていた従来の研究では気づけなかったことであり、雑微動のような微小な信号をもちいることにより始めて明らかになったことである。

また、2011年東北地方太平洋沖地震にともなう地震波速度変化を雑微動の相互相関によって求め、この地震にともなう地下おおむね10km以浅の地震波速度構造を求めた。求められた速度変化は静的・動的応力変化とは強くは相関せず、火山地域において大きいことが明らかになった。このことは、外的応力擾乱にともなう地震波速度変化の大きさは地下の岩石の物性に強く依存することを示している。(図1)

この結果を受け、外的応力擾乱にともなう地震波速度変化の大きさを支配する物理パラメータについて検討を行った。まず最初に、これまでになされた理論的研究を整理し、2静的な応力変化にともなう地震波速度変化は、フックの法則では無視されている有限ひずみの効果、すなわち非線形な弾性変形によって主に生じることを確認した。静的な応力変化にともなう弾性波速度変化は、金属などよりも岩石など粉体の方が大きいことが、これは有限変形に対応する高次弾性定数の絶対値が岩石の方が大きいことによるものである。このような高次弾性定数の違いの物理的実態として、本研究計画では、高次弾性定数が粉流体の半径とその接触半径の日によって支配されるという理論的考察が妥当であることを確認した。しかし、地下の岩石の粉流体の半径やその接触半径を直接計測する方法はなく、この理論的考察が実際の地球内部の物質にあてはめられようかどうかは定か

ない。

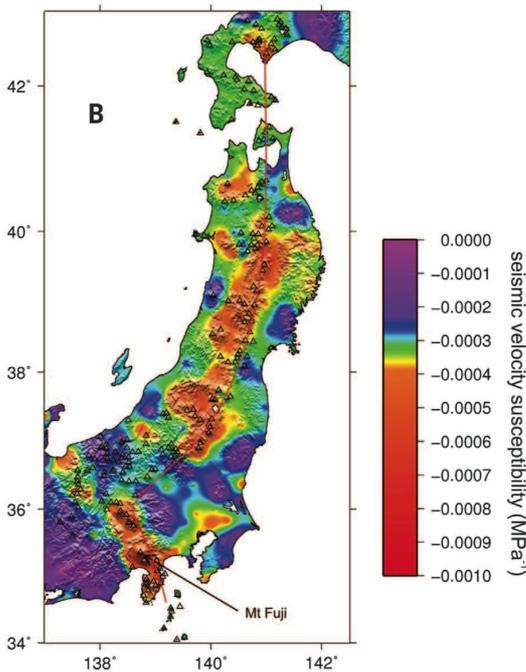
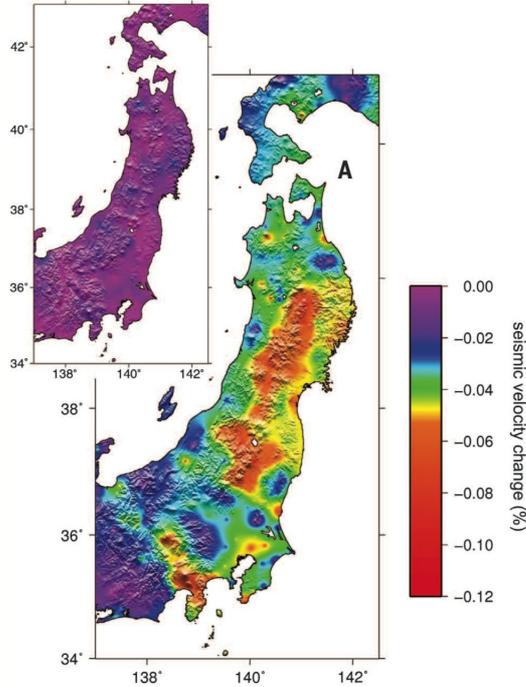


図1：2011年東北地方太平洋沖地震にともなう地震波速度変化。(A)地震波速度変化の割合。地震を挟まない期間の速度変化の例が左上に示してあり、計測誤差が極めて小さいことを示している。(B)地震波速度変化を動的応力変化で割ったもので、暖色であるほど応力変化にたいして地震波速度変化が敏感であることを示している。Brenquier et al. (2014)より抜粋。

また、本研究計画では、地震波による動的応

力擾乱による地震波速度変化の要因についても考察した。本研究では、地震波によるクラック生成が地震波速度を変化させているとの仮説に基づき、クラック生成による地震波速度変化を理論的に考察した。

以上を整理すると、本研究計画期間中に、雑微動観測に関する技術的な問題が明らかになったこと、大地震のような外的応力にともなう地震波速度変化の空間分布が詳細に明らかにされたこと、その地震波速度変化が静的・動的応力変化だけでなく、岩石の性質によって大きく変わることが明らかになったこと、が主な成果である。

#### 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)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1 Aoki, Y. (2015), Monitoring temporal changes of seismic properties, *Frontiers in Earth Science*, 3, 42, doi:10.3389/feart.2015.00042. (査読あり)

2 Takagi, R., K. Nishida, Y. Aoki, T. Maeda, K. Masuda, M. Takeo, K. Obara, K. Shiomi, M. Sato, and K. Saito (2015), A single bit matters: Coherent noise of seismic data loggers, *Seismological Research Letters*, 86, 901-907, doi:10.1785/0220150030. (査読あり)

3 Brenquier, F., M. Campillo, T. Takeda, Y. Aoki, N. M. Shapiro, X. Briand, K. Emoto, and H. Miyake (2014), Mapping pressurized volcanic fluids from induced crustal seismic velocity drops, *Science*, 345, 80-82, doi:10.1126/science.1254073. (査読あり)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 陽介 (AOKI, Yosuke)  
東京大学・地震研究所・助教  
研究者番号: 90376624

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし