

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07470

研究課題名(和文)プレート二重沈み込み領域におけるマグマ供給系の研究

研究課題名(英文)Magma Plumbing system below the subducting oceanic plate and volcanic arc

研究代表者

木下 佐和子(Kinoshita, Sawako)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員

研究者番号：70778761

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：関東地方と中部地方の下では、沈み込む太平洋プレートの上に火山が連なる「島弧」とよばれる分厚い地殻も沈み込んでいる。本研究では、地下の高解像イメージングを行うのに優れた手法であるレシーバ関数解析を用いて、関東・中部地方の火山の下でマグマがどのように上昇しているのかが明らかにすることを目的とした。その結果、関東・中部地方の下で沈み込む島弧の形状を明らかにし、富士山の下で水平約40kmという規模のマグマだまりを発見することができた。

研究成果の概要(英文)：Izu-Bonin-Mariana Arc (IBM) is the intraoceanic arc resulting from a subduction of the Pacific Plate beneath the Philippine Sea Plate. The purpose of this study is to understand the magma plumbing system below Kanto region using receiver function (RF) analysis which is appropriate for high-resolution imaging. The result of RF analysis around Kanto region revealed the spatial distribution of the subducting IBM and the magma chamber of Mt. Fuji with a width of 40 km in horizontal direction and 20 km width in vertical direction.

研究分野：固体地球惑星物理学

キーワード：地震波速度構造 火山下のマグマだまり レシーバ関数解析

1. 研究開始当初の背景

関東地方と中部地方は、地下にフィリピン海プレートと太平洋プレートという2枚の海洋プレートが沈み込んでいる。太平洋プレートの上に沈み込むフィリピン海プレートの中央部分は、伊豆半島、三宅島などの火山が連なる伊豆ボニン-マリアナ島弧(IBM)と呼ばれる地殻が分厚い領域である。一般的に、海洋プレートの地殻の厚みは7~8kmであるのに対し、IBMは30km以上の地殻を保有することが、先行研究で示されている(例えば Kodaira et al. 2007, JGR Solid Earth など)。このIBMは伊豆半島で本州と衝突し、そこから北西の方向に地下に沈み込んでいる。つまり、2重のプレートが本州の下に沈み込む、という非常に複雑なことが起こっている。このIBMが衝突し、沈み込む先には富士山、箱根山、浅間山など過去に大規模噴火をおこした活火山が続いている。これらの火山から噴出された溶岩にはIBMと太平洋プレートという2種類のプレート起源の流体成分が含まれており、富士山の溶岩には太平洋プレート起源、浅間山にはフィリピン海プレート起源の流体の割合が多い(Nakamura et al. 2007, Nature GeoScience)。つまり、太平洋プレートから上昇してきたマグマは沈み込むIBMを突き抜けて、地表に向かって上昇している、と考えることができる。

2. 研究の目的

今迄の研究では、衝突して沈み込むIBMがどのような構造になっているのか、地下深く沈み込む太平洋プレートから、マグマがどのようにIBMを突き抜けて上昇しているのか、詳細な構造はわかっていなかった。その理由のひとつとして、IBMが沈み込む先では、地震の発生数が非常に少ない地震の空白域になっている、という問題がある。通常、沈み込むプレートの形はプレート境界で発生する地震の震源を描くことで見積もることができるが、富士山周辺のように地震の数が少ないと、それは困難である。地震波の到来時間を用いて地下の地震波速度構造を求める走時トモグラフィによって、地震の空白域において地下140km付近まで沈み込むフィリピン海プレートは発見されたが(Nakajima et al. 2009, JGR Solid Earth)、IBMがどのように沈み込んでいるのか、IBMとフィリピン海プレートは地下でどのように連続しているのか、マグマがどこを通過して地上に上昇しているのか、今まで十分な解像度で解明することはできなかった。

そこで本研究課題では、遠地で発生した地震の実体波を使用して地下の構造を求めるレーザ関数解析を使用することで、地震の空白域において高い解像度で地下の地震波速度を求め、IBMの構造と火山下のマグマの場所を求める、という目的で研究を行う。レーザ関数は、スマトラやアラスカなど遠くで発生した地震動の水平成分を上下成分で割り算

して求めた関数で、地下で地震波速度が急激に変化する場所を検出するのに優れている。走時トモグラフィは地下の地震波速度の積分量を使用しているのに対し、レーザ関数は微分量を表し、解像度が高い、という特徴がある。また、遠くで発生した地震を使用するため、数多くの地震観測点を使用すれば、地震の空白域でも十分な解像度で地下構造を求めることができる。この研究に必要なのは密度の高い稠密地震観測網であり、日本で最も観測点密度が高い火山である富士山を対象に今迄研究を進めてきた。これまでの成果として、富士山の下で沈み込むIBMの地殻底面の形状を求めIBMの中にマグマの通り道となる可能性がある領域を見つけ(Kinoshita et al. 2015)、富士山下深さ20km付近に水平方向40km程度の大きさのS波低速度領域を発見した(Kinoshita et al. 投稿準備中)。本研究では、これまでの研究よりも解析領域を広げ、広範囲で解像度の高い地震波速度構造を求め、沈み込むIBMの地下構造と、マグマの上昇経路を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

富士山の解析結果から、レーザ関数解析によってIBM地殻の底面を明瞭に検出できたので、解析領域を広げレーザ関数解析を行うことで、本州の下に沈み込むIBMの深さや形状を求め、通常のフィリピン海プレートとのつながり方を明らかにする。また、レーザ関数のインバージョン解析によって、地下のS波速度構造を求め、S波低速度領域をイメージングすることで、太平洋プレートからIBMを突き抜けてどのようにマグマが上昇しているか検討する。さらに、地下に一枚のプレートのみ沈み込む典型的火山の例として、ニュージーランドにあるトンガリロ火山帯において同様にレーザ関数解析・インバージョン解析を行い、関東地方における地下構造の結果を比較し、マグマ上昇メカニズムの違いを議論する。

4. 研究成果

以下、関東地方におけるIBMの構造とニュージーランド・トンガリロ火山帯に関する研究成果をまとめる。なお、浅間山のデータを用いたレーザ関数解析に関しては、予備的な解析の結果、さらなる解析と議論が必要であると判断し、引き続き論文文化に向けて解析を行っている。

・関東地方におけるレーザ関数解析

関東・中部地方において防災科学技術研究所が公開しているHi-net、F-net観測網、東京大学地震研究所と気象庁が富士山と浅間山周辺に展開している観測網から、2002年~2011年に発生したマグニチュード6以上の遠地地震波形の実体波の部分を取り出した。マルチテーパ法(Park and Levin, 2000)によってレーザ関数を計算し、レーザ関数の

振幅を様々な断面に投影した。

次に、観測点密度が非常に高い富士山周辺のデータを対象に、レシーバ関数と Nishida et al. (2008)による表面波分散曲線を用いて同時インバージョンを行った。富士山の周辺の観測点では、レシーバ関数の2から3秒付近に顕著な負の振幅があり、その振幅を説明するためには、約20kmの深さにS波低速度層が必要である。ところが、本研究で採用している表面波分散曲線には、局所的に存在する顕著な低速度領域は含まれていないため、深い領域に感度があるレーリー波の分散曲線が、インバージョン結果とモデルで合わなくなる。そこで、浅い部分に感度が大きいラブ波の分散曲線のみを使用して、レシーバ関数と同時にインバージョン解析を実施した。

残差の定義

$$E = (1 - c)E_{rf} + cE_{dispLOVE}$$

$$E_{rf} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{rf}} [RF_{obs}(i) - RF_{pre}(i)]^2}{\sum_{i=1}^{N_{rf}} [RF_{obs}(i)]^2} \quad E_{disp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{disp}} [DISP_{obs}(i) - DISP_{pre}(i)]^2}{\sum_{i=1}^{N_{disp}} [DISP_{obs}(i)]^2}$$

Erf: レシーバ関数の残差

Edisp: 分散曲線の残差

rf: レシーバ関数

disp: 分散曲線

pre: 予測されるモデルから計算したデータ

obs: 観測データ

N: データの数

インバージョン解析の結果、レーリー波とラブ波両方を使用した時と同様に、富士山の下には横方向に約40km、深さ方向に約20kmの大きさのS波低速度領域が存在することがわかった。また、伊豆半島では、IBM弧の地殻の厚さは約40kmの厚さまで成長していること、通常の海洋プレートであるフィリピン海プレートが沈み込む場所においては海洋性地殻がS波低速度領域としてイメージングされることがわかった。

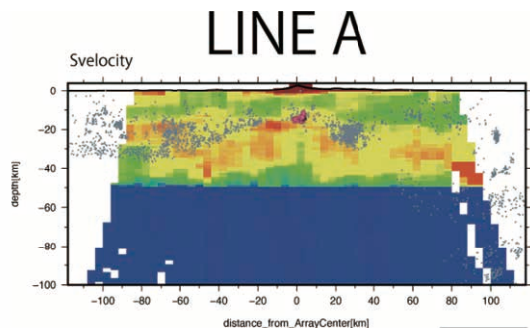
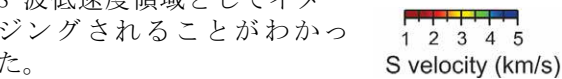


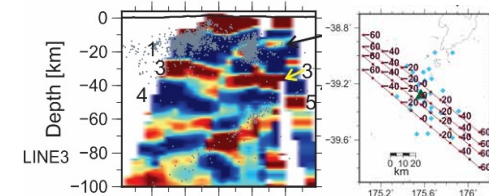
図1: 関東地方におけるS波速度構造の例。富士山を南西-北東に横断する断面図。

・ ニュージーランド・トンガリロ火山帯におけるレシーバ関数解析

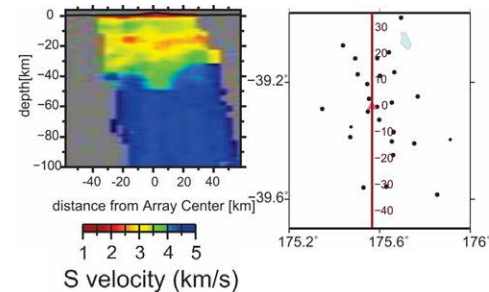
地下に1枚のプレートが沈み込む場所の典型例として、ニュージーランド・トンガリロ火山帯においてレシーバ関数解析を実施した。まず、トンガリロ火山

帯周辺に設置された地震計のデータから遠地地震波形を切り出し、マルチテーパー法でレシーバ関数を計算した。レシーバ関数の振幅を断面に投影すると、沈み込む海洋プレートのモホ面は非常に強い速度変換面としてイメージングされたが、火山帯の下は変換面が検出されなかった。これは、熱いマントルによるS波の減衰が原因と考えられる。大陸プレートのモホ面は20~30km付近にイメージングされたが、南に行くほど深くなる傾向があり、またルアペフ火山直下では変換面が不連続になるという特徴があった。

ルアペフ火山周辺の観測点で求めたレシーバ関数には富士山同様、到達時刻約1から3秒付近に大きな負の振幅があり、S波の低速度領域があることが予想された。そこで、関東地方における解析同様にレシーバ関数のインバージョン解析を実施した。その結果、1~3秒付近にある負の振幅は、深さ約25km付近に鉛直方向10kmの幅で存在するVs<2.5km/sのS波低速度領域として検出された。この定速度領域はVs>3.5km/sの速い層に挟まれている。本研究では、この低速度領域を下部地殻における流体に富んだ領域と解釈した。S波速度の値から約10~15%程度の気体、水、またはマグマに満ちたporeが存在することが予想される。観測点が十分でないため、この低速度領域の全体像は不明であるが、少なくとも、水平方向には30km以上の広がりを持っていると考えられ、流体成分に豊富な領域は火山帯の外まで続いていると解釈した。



(図2) レシーバ関数の振幅断面図例。ルアペフ火山を通る南東-北西断面図。



(図3) S波速度構造の例。ルアペフ火山を南北に通るS波速度断面図。

・ まとめと今後の課題

本研究の成果より、富士山とルアペフ火山では、地殻とマントルの境界付近にS波低速度領域が存在することが明らかになった。

一方、富士山下約40km程度の深さにおいて観測波形を説明しきれないという課題が残っ

た。また、求めた速度構造の誤差を議論することも必要である。今後は、層の数や分散曲線の重みも変数としたインバージョンを実施するなど、より複雑な構造を導入し、残差分布も議論したい。また、本研究ではレシーバ関数のラディアル成分を解析したが、火山帯の下などはトランスバース成分も卓越していた。これらは、速度境界が傾斜していること、異方性構造があることを示唆しているため、減衰構造を含んだ3次元の解析なども行っていきたい。

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)

木下佐和子・西田究・五十嵐俊博・青木陽介・武尾実・上田英樹、「レシーバ関数のインバージョン解析から推定した富士山下のS波速度構造」、地震学会2016年度秋季大会(愛知県名古屋市)、2016年。

木下佐和子・Martha K. Savage・青木陽介・Yannik Behr、レシーバ関数解析によるニュージーランド・トンガリロ火山帯の地殻・マントル構造、火山学会2016年度秋季大会(山梨県富士吉田市)、2016年。

Sawako Kinoshita, Kiwamu Nishida, Toshihiro Igarashi, Yosuke Aoki, Minoru Takeo, "Spatial distribution of the Crust-Mantle boundary in colliding and subducting Izu-Bonin-Mariana Arc beneath Japan using Receiver Function analysis", IAG-IASPEI Joint Scientific Assembly(Kobe, Japan), 2017.

Sawako Kinoshita, Kiwamu Nishida, Toshihiro Igarashi, Yosuke Aoki, Minoru Takeo, "Lithospheric structure of the subducting Izu-Bonin-Mariana Arc beneath Japan inferred from Inversion of Receiver Function and Surface Wave Dispersion." AOGS 14th Annual Meeting(Singapore), 2017.

6. 研究組織

(1)研究代表者

木下 佐和子 (KINOSHITA, Sawako)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・

地質調査総合センター・研究員

研究者番号：70778761