

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400442

研究課題名(和文) マントルの3次元マルチスケール実体波波形インバージョン

研究課題名(英文) Waveform inversion for localized 3-D seismic velocity structure for in lowermost mantle

研究代表者

ゲラー ロバート (Geller, Robert)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40170154

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：マントルの地震学的構造とその地球化学的性質を明らかにすること、特に、核-マントルの相互作用と共進化の理解に貢献することを目指し、我々はより高解像度の地球内部構造を推定するための独自の手法(波形インバージョン)を開発してきた。波形インバージョンは走時などの2次データではなく、地震波形そのものをデータとして用いて情報を最大限抽出し、これまでにない高い解像度でD”領域の構造を推定する手法である。本研究ではその手法を三次元不均質構造に適用できるように拡張し、同手法を使用して中米下及び西太平洋下のD”領域の局所的3次元S波速度構造を推定した。

研究成果の概要(英文)：To reveal seismic velocity structure of the mantle and its geophysical mechanism, our group develop a full-waveform inversion method for the localized structure of the lowermost mantle. In most cases only secondary data, which are extracted from the observed waveform data (e.g. traveltimes) are used in studies of earth structure. On the other hand, our inversion method can handle waveform data themselves, rather than travelttime data. In this study, we modified our method to obtain more fine structures in the mantle, and infer 3-D localized shear velocity structure in the lowermost mantle beneath western pacific and central America.

研究分野：地震学

キーワード：地震波形インバージョン 地球内部構造

## 1. 研究開始当初の背景

マントルの地震学的構造と地球化学的構造の関係を明らかにすること、特に核-マントルの相互作用と共進化の理解に貢献するために最下部マントル(D"領域)のより詳細且つより高解像度の地震波速度内部構造モデルを推定することを目指す。これまで我々は走時などの2次データを使わずに、観測された波形そのものをデータとして使用し内部構造を推定する手法(波形インバージョン)を開発してきた。これまでは、周期数十秒程度の地震波形データを用いた波形インバージョンによるグローバルな全マントルの3次元構造推定研究が行われたが(French & Romanowicz 2015, Takeuchi 2012)、10秒より短い短周期成分まで用いた実体波波形インバージョンはなかったため、地球の物質循環を理解する上で欠かせないD"領域への理解が不十分であった。

## 2. 研究の目的

これまでの研究と比較して、水平方向、深さ方向ともに高い解像度で、詳細な3次元S波地震波速度構造を推定する手法を開発し、同手法を用いて、D"領域における地震波速度構造を推定し、地震学的構造と地球化学的構造の関係を明らかにすることで、核-マントル境界付近での物質循環の理解を目指すことである。

## 3. 研究の方法

波形インバージョンとは、大量の観測地震波形と、対応する理論地震波形の残差が小さくなるような内部構造モデルを統計学的に推定する手法である。グローバル地震観測網及び高密度アレイ観測網の広帯域地震波形データを収集し、データセットを作成する。作成したデータセットの地震波形記録は、周期8秒程度まで用いて共役勾配法によるインバージョンを行う。さらに、統計学的優位性を赤池情報量規準(AIC)によって評価し、得られたモデルの誤差の評価を行う。このようにして、データセットの作成と波形インバージョンによる地震波速度構造推定を順次行い、世界各地のD"領域の局所的3次元S波速度構造を推定する。これまで、我々は、実体波波形インバージョンを行うために必要な理論波形計算ソフトウェアの開発(Geller & Ohminato 1994, Geller & Takeuchi 1995; Kawai et al. 2006)、逆問題の定式化(Geller & Hara 1993)を1990年代から継続して行い、中米下のD"領域の1次元局所的S波速度構造推定(Kawai et al. 2007)を皮切りに、局所的1次元速度構造の推定を行ってきた。本研究ではさらに3次元構造推定を可能にするため、膨大なデータセット処理を効率的に行い、現実

的な計算時間での三次元構造推定手法を開発する。

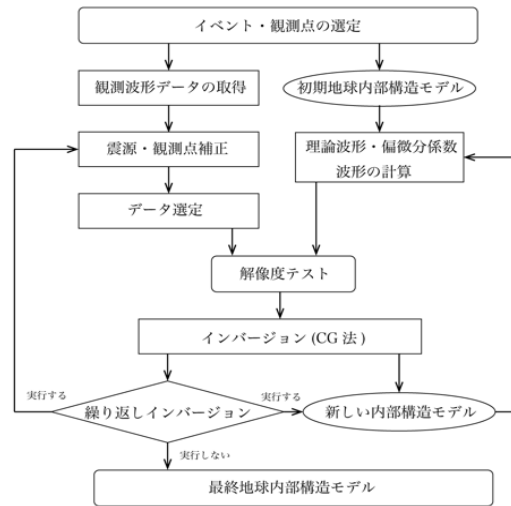


図1: 波形インバージョンの手順

## 4. 研究成果

独自に開発してきた波形インバージョン手法を大幅に発展させ、ビッグデータ解析に適した地球内部の微細構造推定のための波形インバージョン手法を開発し、地球深部の3次元微細構造をより正確に推定することに成功した。この新しい解析手法を用いることで、理論波形と観測波形を客観的に比較することができ、その結果、一本一本の観測波形では識別できないほどのわずかな波形の特徴から詳細構造の推定ができるようになったことがKonishi et al. 2014によって確かめられた。実際に、本研究では、トンガおよびフィジーにおける複数の深発地震によって起こった地震波を主に日本の防災科学研究所(NIED)のF-Netと呼ばれる最新のアレイ観測網で記録したデータセットに上述の新解析手法を適用した。その結果、世界最高解像度(水平5°;鉛直50km)で西太平洋下のD"領域内のS波(横波)速度構造を推定した。さらに、核マントル境界直上では二つの低速度領域があるが、核マントル境界150km上ではそれらは合流し一つの低速度領域になり、300km上までその低速度領域は続いている構造を見出した。つまり、高さ300km程度のタワー型の低速度領域がある速度構造を明らかにした。一般的に、高速度領域は平均より温度の低い領域であり、一方低速度領域は平均より温度の高い領域であると考えられている。そのため、タワー型の低速度領域は温度の高い物質が局所的に存在していることになる。太平洋下の最下部マントルには水平方向数千kmの巨大低速度領域(LLSVP)の存在が30年来知られてきたが、

それは小さな温かい上昇流（ブルーム）が集まっているものなのか（ブルームクラスター）あるいは重い物質が元となって大きな温度の高い不均質構造（サーモケミカルパイル）を作っているのか議論されていた。本研究によって得られた構造はブルームクラスターモデルを支持し、マントル対流は地質学的時間スケールにおいては巨大な化学物質不均質を維持できないことを示唆するもので、マントルの熱化学進化のさらなる理解につながる。ホットスポットにはプレート内が起源のものとプレートの下が起源のものがある。プレートの下が起源のホットスポットは過去のプレートの情報をホットスポットの年代の軌跡から知ることができるため重要である。また、年代の軌跡が明らかになっているホットスポットはその起源の確かさから分類され評価がなされている。例えば、ハワイのホットスポットはプレート運動とは関係なく地球深部起源であることが地球物理・地球化学的に認定されている。一方で、キャロラインホットスポットはヘリウム（ $^3\text{He}$ ）の同位体から初生的なまたは孤立したマントルからの起源であることが示唆されており、年代の軌跡も明らかになっていることから、非常に重要なホットスポットの一つであったが、地震学的な低速度領域の同定がなされていなかったためにその評価が低かった。本研究の結果はキャロラインホットスポットの真下に低速度領域を同定し、その起源が核とマントルの境界であることを示唆した。今後キャロラインホットスポットの年代軌跡の研究から過去のプレートの運動の研究が進むことが期待される。

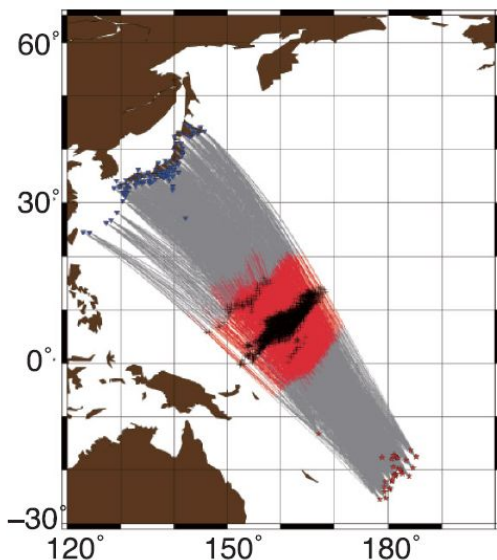


図 2：本研究で推定した領域。赤で記した地域の C M B 付近の三次元構造推定に成功した。

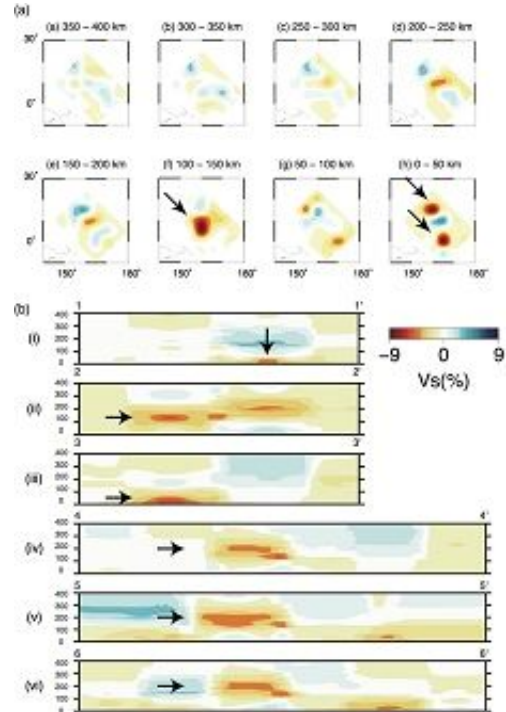


図 3：西太平洋下の最下部 400 km マントル

## 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 2 件)

小西 健介, 河合 研志, ゲラー ロバート, 富士 延章, *Waveform inversion for localized 3-D seismic velocity structure in the lowermost mantle beneath the Western Pacific*, *Geophysical Journal International*, 査読有, 199 巻, 2014 1245-1267

河合 研志, 小西 健介, ゲラー ロバート, 富士 延章, *Methods for inversion of body-wave waveforms for localized three-dimensional seismic structure and an application to D'' structure beneath Central America*, *Geophysical Journal International*, 査読有, 197 巻, 2014, 495-524

〔学会発表〕(計 5 件)

ボルジョ アンセルム, 小西 健介, 河合 研志, ゲラー ロバート, *Full-waveform Inversion for Localized 3-D S-velocity Structure in D'' Beneath the Caribbean using US-Array*

Data, AGU Fall Meeting 2015, 2015 年 12 月 14 日, San Francisco (アメリカ)

鈴木 裕輝、小西 健介、河合 研志、ゲラー ロバート、波形インバージョンによるハワイ下の D" 層の 3 次元 S 波速度構造推定、日本地震学会秋季大会、2015 年 10 月 26 日、神戸国際会議場(兵庫県、神戸市)

ボルジョ アンセルム、小西 健介、河合 研志、ゲラー ロバート、Full-waveform Inversion for localized 3-D S-velocity Structure in D" Beneath the Caribben using US-Array Data、日本地震学会秋季大会、2015 年 10 月 26 日、神戸国際会議場(兵庫県、神戸市)

ボルジョ アンセルム、小西 健介、河合 研志、ゲラー ロバート、Comparison between ray theory and synthetic seismograms for transversely isotropic media、2015 年 5 月 24 日、幕張メッセ国際会議場(千葉県、千葉市)

小西 健介、河合 研志、ゲラー ロバート、Preliminary Investigation to Resolve the Shear Velocity Structure of the Mantle Transition Zone beneath the Caroline Plate, Equatorial Western Pacific、AGU Fall Meeting 2013, 2013 年 12 月 10 日, San Francisco (アメリカ)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

ゲラー ロバート (Geller, Robert J.)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号: 40170154

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

河合 研志 (KAWAI, Kenji)

東京大学・総合文化研究科・助教

研究者番号: 20432007