

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03784

研究課題名(和文) マントル深部の対流を地震波散乱観測から解明する研究

研究課題名(英文) Study of deep mantle convection by investigating seismic scattering

研究代表者

金嶋 聡 (Kaneshima, Satoshi)

九州大学・理学研究院・教授

研究者番号：80202018

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：トンガ地域など環太平洋地域の沈み込み帯下部マントルのSP散乱体分布を包括的に調査し、最上部300kmに多くの散乱体があり、より深い領域では散乱体個数は減少する傾向を見出した。同種の傾向は他の散乱波(PPやSS)についても見られ、下部マントル不均質の一般的特徴と考えられる。下部マントルSP散乱波強度はポストスピネル転移による660km不連続面でのSP変換波の70%に及び、大きな物性変化が数kmの範囲で起きている。オホーツク海とペルー下の下部マントル散乱体群のUSアレイのデータを精査し、これらが、著しく褶曲した厚さ10km程度の薄層構造を持ち最低で100km程度の広がりを持つことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究課題はそれ自体としては特段の社会的意義を持つものではないが、地質学的な時間スケールにおけるマントル全体の物質循環の変遷を明らかにする際に鍵となる観測事実を与えることを目指している。マントル深部と地球表層の間に起きる物質循環の問題は、地球表層の環境や生命進化と深く関わる地球科学の最重要課題の一つである。

研究成果の概要(英文)：We investigate global distribution of S-to-P scatterers in shallow to mid-lower mantle beneath subduction zones, where deep seismicity extends down to the bottom of the upper mantle. By array processing broadband and short period wave form data obtained at seismic networks, we seek anomalous later phases in the P codas. The later phases usually arrive along off-great circle paths and significantly later than S-to-P conversion at the "660 km" discontinuity and are adequately regarded as scattered waves. The S-to-P scattered waves often show amplitudes comparable to the "S660P" waves, which indicates that a spatial change in elastic properties by several percent occurs at the scatterers as abruptly as the post-spinel transformation and should arise from compositional heterogeneity. Nearly half of S-to-P scatterers are shallower than 1000 km, and the number of scatterers decreases with depth.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：下部マントル 不均質構造 化学組成 地震波アレイ解析 SP散乱波 玄武岩物質

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

ホット・スポット火山岩の地球化学的同位体分析により様々なスケールのマントル不均質の存在が証明されている一方で、マントル深部の物理的条件下では必然的に対流が生じると考えられる。地震波トモグラフィーによる沈み込むプレートの可視化やマントル対流計算機シミュレーションなどの地球物理学的な研究により、マントル深部が毎年0.1mm程度の速さで対流する結果マントル内の不均質はかなり速やかに攪拌されると推測されている。地球化学的な不均質が、対流するマントル中でどのように長期間維持されるかという問題は、地球科学が解決すべき極めて重要なテーマであるが、地震波トモグラフィーは過去2億年程度の対流を明らかにするに過ぎず、**45億年の地球史を通じた地球深部の流れの痕跡を解明する観測的手段**がこれまで無かった。火山岩の同位体的特徴の多くは10億年を超える時間スケールで形成されたものなので、この情報の欠如は深刻である。さらに、マントル深部に関してトモグラフィーは~500km以下の規模の構造に対しては信頼するに足る像を描けないが、**地球化学的特徴を大きく左右するのは拡散が効果的に働くもっと小規模な褶曲・攪拌構造**である。地球物理学と地球化学が与える情報間の空間スケールの乖離もまた是非とも改善されるべき課題である。

## 2. 研究の目的

研究代表者らはこれらの障壁を乗り越えることを目指して地震波散乱現象を解析し10kmスケールの不均質構造を調査してきた。地震計アレイデータの処理による散乱波あるいは反射・変換波の解析は、石油探査やマントル上部の構造解明に絶大な威力を発揮する。ところが、地球深部の散乱現象には、散乱源とアレイ間の距離がアレイ口径に比して大きすぎる難点があり、また解析可能な信号も微弱な場合がほとんどであるため、地球の浅部を調査する通常の手法はそのままでは有効でない。マントル深部起源の散乱波を有効に分析する新たな視点・切り口が求められており、本研究ではこのテーマに取り組んだ。

## 3. 研究の方法

マントル深部で散乱された地震波が~2000km四方のアレイの内のどの程度の広がりを持つ領域で顕著に観測されるかについて系統的に調査する。Kaneshima(2018)は、500kmを超える広がりを持った領域で散乱波が観測される事例(今の場合50km以上の規模を持つ深部散乱体の存在を示唆する)は全体の数%を超えないことを示唆したが、本研究ではこの観測をより系統的に検証し褶曲構造のスケール分布に関する制約を与えることを目指した。一方で200kmを越す規模の散乱体を示唆する事例が10例近く見つかり、それらについて散乱体形状と弾性的異常の程度を確定するとともに、他にも

同様な事例が無いかより系統的に探査した。

様々タイプの地震波散乱現象が (SxP または SxcP、PxP、P'xP') 解析されている。研究代表らの研究を総合して推定される深さ方向の SP 散乱体分布は、**1800km 以深の SP 散乱体数が著しく少ない**ことを示唆しており、同じ傾向は PP 散乱でも見られる。この観測結果を、異なるタイプの散乱に関するより多くのデータを用いて個別的な位置決定と統計的分布の両面から検証した。また、トモグラフィーが解明した太平洋の LLSVP や下部マンツルのスラブなどの大規模構造との位置の関連を調べた。

#### 4. 研究成果

本研究は、地球の下部マンツルの対流に伴う褶曲・変形構造を地震波解析により明らかにし、それに基づき 10 億年単位の時間スケールにおけるマンツル対流の実相を解明することを目的として、以下の二項目(1)と(2)に取り組み成果を得た。

(1)マンツル深部に存在する 1~100 kmスケールの不均質構造により散乱された地震波を新解析し散乱体の形状を調べた。

(2)様々なタイプの地震波散乱に関するデータ・セットを構築してマンツル深部のグローバルな散乱体分布とより大きいスケール (数千 km~数km) の不均質構造との関連を調べた。

これらの研究の結果、トンガフィジー地域の下部マンツルの散乱体分布を調査し公表した(Kaneshima, 2018)。その際に注目された散乱体深さ分布をより広域について調査するため、主に環太平洋地域の沈み込み帯に対して下部マンツルの SP 散乱体分布を包括的に調査した。その結果、下部マンツルの最上部 300km 程度に多くの散乱体が見られ、それよりも深い領域では SP 散乱体個数は減少する傾向を見出した。同種の傾向は他の散乱波 (PP や SS) についても見られ、下部マンツル不均質の一般的特徴である可能性が示唆された。また下部マンツル起源の SP 散乱波の強度は平均してポストスピネル転移による 660km 不連続面における SP 変換波の 70%にも及ぶことが示され、極めて大きな物性変化が数 km の範囲で起きていることが示された。これらの結果も発表された(Kaneshima,2019)。また、オホーツク海とペルー下の顕著な下部マンツル散乱体群に注目して US アレイの極めて高品質の地震波形データを精査した結果、これらの散乱体が、著しく褶曲した厚さ 10km 程度の薄層構造を持つことも示唆され、散乱体群の広がりが最低で 100km 程度はあることも示された(Ritsema, et al., 2020)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Satoshi Kaneshima	4. 巻 218
2. 論文標題 Seismic scatterers in the lower mantle near subduction zones	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 1873-1891
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/gji/ggz241	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Satoshi Kaneshima	4. 巻 274
2. 論文標題 Seismic scatterers in the mid-lower mantle beneath Tonga-Fiji	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.pepi.2017.09.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Ohtaki, S. Kaneshima, H. Ichikawa, T. Tsuchiya	4. 巻 123
2. 論文標題 Seismological evidence for laterally heterogeneous lowermost outer core of the Earth	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research	6. 最初と最後の頁 10903-10917
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2018JB015857	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 J. Ritsema, S. Kaneshima, S. M. Haugland	4. 巻 306
2. 論文標題 The dimensions of scatterers in the lower mantle using USArray recordings of S-wave to P-wave conversions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 106541
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.pepi.2020.106541	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Jeroen Ritsema, Satoshi Kaneshima, Sam Haugland
2. 発表標題 New USArray observations of 100-km scale, layered scattering structures
3. 学会等名 American Geophysical Union, 2019 Fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Kaneshima
2. 発表標題 Seismic scatterers in the mid-lower mantle near subduction zones
3. 学会等名 SEDI2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	ヘルフリック ジョージ  (Helffrich George)  (80747163)	東京工業大学・地球生命研究所・研究員    (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------