

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03797

研究課題名(和文) CMB直下のP波速度構造推定及びその起源の解明～地震波形インバージョンの応用

研究課題名(英文) Waveform inversion for the P wave velocity structure in the outermost core

研究代表者

河合 研志 (Kawai, Kenji)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：20432007

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：液体最外核のP波速度構造推定を目的として、液体中における密度及び弾性定数の摂動に対する偏微分係数計算ソフトウェアの開発、および、卓越周期の短いP波を活用するために、震源パラメータ再決定ソフトウェアを開発した。やや短周期(周期8秒まで)の地震波形記録を用いて、最外核を推定する際に用いるフェーズがサンプルするマントル遷移層および最下部マントルの3次元S波速度構造推定を行った。最下部マントルおよび外核最上部の地震波速度構造を同時に推定する土台ができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでよりも短い周期のS波を活用することによって、マントル遷移層および最下部マントルの地域的な3次元S波速度構造の最高解像度でのイメージングに成功した。その結果、マントル遷移層の沈み込みスラブの断裂を特定し、地質学的記録と対比することによって世界に先駆けて地球深部の年代決定を行った。また、既存の走時解析手法にとって不得手とされていた地球深部の低速度異常についても、低速度異常の内部構造のイメージングに成功した。本研究ではマントル遷移層および最下部マントルをこれまでになく解像度で地震波速度構造を推定することによって、地球内部ダイナミクスの理解に貢献をすることができた。

研究成果の概要(英文)：To infer the P-wave velocity structure of the outermost core, we developed software for calculating partial derivative in terms of perturbations of density and elastic constants in a liquid media and software for redetermining source parameters to utilize P-waves with short periods. We invert waveform records with shorter periods (up to 8 seconds) for the 3-D S-wave velocity structure of the mantle transition zone and the lowermost mantle, where the phases used to infer the outermost core sample. Thus, these developments will contribute to simultaneous inversion for the seismic velocity structure of the lowermost mantle and the uppermost outer core.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：波形インバージョン 核・マントル境界 最外核 液体 マントル

1. 研究開始当初の背景

液体鉄合金で構成される外核の対流はダイナモ運動を駆動し地球磁場を生成しているため、外核の対流様式は地球表層環境及び生命の進化と密接に関連している。外核の対流は、温度差に伴う密度差による熱対流と、内核の成長(鉄の固化)に伴って放出される軽元素に富む軽い流体が浮力を得て上昇する組成対流、の二つの効果による組み合わせである。かつては、外核の活発な対流によって外核最上部の組成分布及び温度分布は均質であると考えられた (Stevenson, 1981 Science)。しかしその後の地震学的観測から、核マントル境界(CMB)直下数 100km には標準的 1 次元速度構造モデル PREM (Dziewonski & Anderson 1981 PEPI)よりも低速度不均質の存在が指摘され (Garnero et al., 1993 GRL; Tanaka & Hamaguchi 1993 AGU Monograph)、それ以来一貫して P 波低速度不均質構造が推定されてきた (Tanaka 2007 EPSL; Helffrich & Kaneshima 2010 Nature; Alexandrakis & Eaton 2010 PEPI; Tang et al. 2015 Sci. Rep.; Kaneshima & Matsuzawa 2015 PEPS)。その CMB 直下の低速度領域は軽元素(S, Si, C, H, O 等)の濃集によるものと考えられる。その場合、核の中に含まれる軽元素の総量が従来の見積もりと比べて多くなるため、地球の起源物質の組成を理解する上でその外核最上部の軽元素の濃集量を見積もることが重要である。一方で、軽元素を含む液体鉄の地震波速度及び密度に関する鉱物物理学的研究が最近行われた (市川 土屋 2017 地学雑誌; Brodholt & Badro 2017 GRL)。その研究に基づいて、観測されている低速度領域を説明するために、特定の軽元素が CMB 直下に濃集し成層するモデル(市川 土屋 2017 地学雑誌)と、成層せず軽元素が動的に CMB 直下に供給されるモデル(Brodholt & Badro 2017 GRL)が提唱された。両モデルの相違点である外核最上部における安定成層の有無は、マントルへの熱流量と密接に関連し内核の年齢等の核の熱史に大きな影響を持つ。外核中の軽元素の種類及び総量(濃集量)と外核最上部の成層構造の有無を理解するために、本研究が提案するように、CMB 直下の P 波速度構造(特に P 波の低速度不均質の度合と厚み)を先行研究と比べてより詳細に推定することが望まれていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、局所的な波形インバージョン法を用いて、CMB 直下 300km の P 波速度構造を鉛直方向 100km 以下のスケールで推定することである。

3. 研究の方法

(A) 波形インバージョン法の液体への拡張

外核(液体)中における密度及び弾性定数の摂動に対する 1 次元偏微分係数計算ソフトウェアを 3 次元に拡張する。Kawai (2006 博士論文)の液体中の密度(ρ)と弾性定数(κ)についての偏微分係数の定式化を基に、ソフトウェアを実装する。

(B) 震源パラメータ再決定ソフトウェアの開発

外核(液体)中における密度及び弾性定数を推定するためには、卓越周期の短い P 波を利用する必要がある。短周期成分をこれまで活用できなかった理由の 1 つは、長周期成分(例: 50 秒以上)を用いて決定された震源パラメータ(例: GCMT 解)を使用していたからである。そこで、やや短周期成分を用いて震源パラメータを再決定することで、構造推定に震源パラメータが与える影響を定量的に見積もりつつ、より短周期成分を用いた波形インバージョン法を開発する。

(C) SmKS 等のフェーズのカーネル計算及び速度構造推定の解像度見積もり

(A)で開発した液体中の偏微分係数計算ソフトを用いて SmKS($1 \leq m \leq 7$)、PKP, PKKP, SKP, PKS, PcP 等のフェーズの、CMB 直上の D''領域及び CMB 直下の外核最上部におけるカーネル(感度)を計算する。そして、CMB 直下の構造に敏感なフェーズ、周波数、震央距離、時間窓等の関係性を定量化し、最も高い解像度で推定できる組み合わせを決める。さらに、開発した液体中及び固体中の偏微分係数波形計算ソフトを用いて、D''領域において弾性定数に摂動を与えた場合の偏微分係数波形と CMB 直下の弾性定数に摂動を与えた場合の偏微分係数波形の相互相関を計算して、D''領域と CMB 直下外核最上部の地震波速度構造のトレードオフを見積もる。

(D) マントル中の 3 次元不均質構造推定

外核最上部の構造推定に用いる地震波のフェーズはマントル中の不均質構造の情報を含んでいるため、外核最上部の構造推定を行う際にはマントルの不均質構造とのトレードオフを厳密に考慮することが望ましい。そのため、最外核を推定するために用いる SmKS 等がサンプルするマントルの 3 次元 S 波構造推定を行う。

(E) CMB 直下の 1 次元 P 波速度構造推定

まず解像度の理論的な見積もりを行い、作成したデータセットに波形インバージョン法を適用して、CMB 直下の 1 次元速度構造を推定する。さらに外核最上部及び D'領域のトレードオフを考慮して、両者の地震波速度構造の同時推定を行う。得られた 1 次元構造は 3 次元構造推定のための初期モデルとする。

4. 研究成果

震源メカニズム・震源重心・震源時間関数などの震源パラメータを、波形の短周期成分を用いて再決定するソフトウェアを開発した。広帯域観測網 (GSN 及び FDSN) で得られた地震波形のやや短周期成分に適用し、南米下で発生した深発地震の震源パラメータを再決定した。これを稠密観測網 (USArray) で得られた地震波形に適用し、波形インバージョンを行うことで、中米下マントル最下部の 3 次元 S 波速度構造を推定した。GCMT 解を適用した構造推定の結果と比較することにより、震源パラメータの再決定による構造推定の改善度合いを定量的に評価した。その結果、(1) 私たちが再決定した深発地震の震源メカニズムと震源重心は GCMT 解とよく一致したが、震源時間関数は一致せず、浅発地震のスケーリング則から期待されるより短いことを確認した。(2) 震源パラメータの再決定により、推定した構造から求めた理論波形と観測波形の残差が減少した。(3) いずれの構造推定結果でも、1 次元初期モデルに対する速度異常のパターンは一致した。(4) 特に震源時間関数の再決定により速度異常の振幅が約 30% 減少し、従来の手法における振幅の過大評価を明らかにした。(5) 周期 12.5 秒以上よりも、周期 8 秒以上の成分を用いた場合の方が、震源パラメータの再決定による構造推定モデルの改善度合いが大きかった。以上、本研究で新たに開発した手法により、従来は使えなかった短周期成分を使用することができるため、今後高解像度な S 波速度構造推定、卓越周期が短い P 波に適用して P・S 波速度構造同時推定および最外核の P 波速度構造推定が可能となった (Yamaya et al. 2018 PEPI)。

外核最上部の構造推定に用いる地震波のフェーズはマントル中の不均質構造の影響を含んでいるため、外核最上部の構造推定を行う際にはマントルの不均質構造とのトレードオフを厳密に考慮することが望ましい。そこで、私たちは外核最上部の構造推定に向けて、マントル中の不均質構造を適切に考慮するために、最外核を推定するために用いるフェーズなどがサンプルするマントル遷移層および最下部マントルの 3 次元 S 波速度構造推定を行った。

震央距離 10~30 度の S 波トリプリケーションデータを用いてマントル遷移層を含む深さ約 300~800km の領域の 3 次元 S 波速度構造推定を行った。中米下のマントル遷移層を推定対象として南米の地震、北米の稠密アレイ観測網のデータを用いた。大量のデータ(数万の地震波形記録)を用いて安定してインバージョンを行うため、特に震源・観測点補正方法、データの重み付け、逆問題の最適化手法の改善を行った。その結果、水平 200km 鉛直 50km の高い解像度で S 波速度異常を解像し、この地域の複雑な形状を有する海洋プレートのイメージングに成功した。スラブの断裂が起こっていること、地質学的記録と対比することによって、その断裂は 1000 万年前に沈み込んだテファンテベク海嶺であることがわかり、地球史の理解に必要な時間に関するパラメータである、上部マントル中のスラブの年代と平均沈降速度を推定した (Borgeaud et al. 2019 JGR)。

これまでの全地球的な内部構造推定の研究では、太平洋下の最下部マントルに大規模な S 波低速度領域 (LLSVP) が存在することが示唆されてきたが、解像度が低いために、LLSVP が小規模な低速度異常の集合体であるのか、大規模な低速度異常であるのかは明らかになっていなかった。そこで、タイ王国に設置した全 40 点の地震観測アレイ (TSAR) で観測しデータセットを作成し波形インバージョン法を用いて解析した結果、フィリピン海下の CMB 上に少なくとも 400 km 上まで垂直に伸びる高速度異常と、ニューギニア海下の CMB 上に直径 300 km 程度の複数の小規模な低速度異常を発見した。高速度異常は低温の領域に相当し、その位置が約 2 億年前のイザナギプレートの沈み込み境界の位置と一致していることから、約 2 億年前に西太平洋の海底で沈み込んだイザナギプレートが CMB まで到達していると解釈した。一方で、低速度異常は高温の領域に相当するため、複数の小規模な低速度異常は小規模な熱的ブルームの集合体であると解釈した (Suzuki et al. 2020 PEPI)。

研究開始当初は最外核の P 波速度構造推定を目的として、卓越周期の短い P 波を活用するために、震源パラメータ再決定ソフトウェアを開発した。その結果、P 波のみならず S 波の短周期成分を用いた波形インバージョンより、マントル内の詳細な S 波速度構造推定が可能であることに気がついた。そこで、これまでよりも短い周期の S 波を活用することによって、マントル遷移層および最下部マントルの地域的な 3 次元 S 波速度構造の最高解像度でのイメージングに成功した。その結果、マントル遷移層の沈み込みスラブの断裂を特定し、地質学的記録と対比することによって世界に先駆けて地球深部の年代決定を行った (Borgeaud et al. 2019 JGR)。また、既存の走時解析手法にとって不得手とされていた地球深部の低速度異常についても、LLSVP 内部構造のイメージングに成功した (Suzuki et al. 2020 PEPI)。最外核の P 波速度構造推定には及ばな

ったが、本研究ではマントル遷移層および最下部マントルをこれまでにない解像度で地震波速度構造を推定することによって、地球内部ダイナミクスの理解に貢献をすることができた。一方で、本研究で作成した液体中の密度及び弾性定数についての偏微分係数計算ソフトウェアを用いて、太平洋下の最下部マントルおよび外核最上部の地震波速度構造を同時に推定する土台ができたと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 5件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Okuda, H., I. Katayama, H. Sakuma, K. Kawai | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Effect of normal stress on the frictional behavior of brucite: application to slow earthquakes at the subduction plate interface in the mantle wedge | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Solid Earth | 6. 最初と最後の頁 171-186 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/se-12-171-2021 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Ohtaki, T., S. Tanaka, S. Kaneshima, W. Siripunvaraporn, S. Boonchaisuk, S. Noisagool, K. Kawai, T. Kim, Y. Suzuki, Y. Ishihara, K. Miyakawa, N. Takeuchi | 4. 巻 311 |
| 2. 論文標題 Seismic velocity structure of the upper inner core in the north polar region | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors | 6. 最初と最後の頁 106636 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2020.106636 | 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 |
| 1. 著者名 Suzuki, Y., K. Kawai, R. J. Geller, S. Tanaka, W. Siripunvaraporn, S. Boonchaisuk, S. Noisagool, Y. Ishihara, T. Kim | 4. 巻 307 |
| 2. 論文標題 High-resolution 3-D S-velocity structure in the D region at the western margin of the Pacific LLSVP: Evidence for small-scale plumes and paleoslabs | 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 106544 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/2020.106544 | 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 |
| 1. 著者名 Anselme F. E. Borgeaud, Kenji Kawai, Robert J. Geller | 4. 巻 124 |
| 2. 論文標題 3-D S-velocity structure of the mantle transition zone beneath Central America and the Gulf of Mexico inferred using waveform inversion | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth | 6. 最初と最後の頁 9664-9681 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018JB016924 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Hanaya Okuda, Kenji Kawai, Hiroshi Sakuma | 4. 巻 124 |
| 2. 論文標題 First principles Investigation of Frictional Characteristics of Brucite: An Application to Its Macroscopic Frictional Characteristics, Journal of Geophysical Research | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth | 6. 最初と最後の頁 10423-10443 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JB017740 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 Satoru Tanaka, Weerachai Siripunvaraporn, Songkhun Boonchaisuku, Noisagool Sutthipong, Tawoon Kim, Kenji Kawai, Yuki Suzuki, Yasushi Ishihara, Ryohei Iritani, Koji Miyakawa, Nozomu Takeuchi, Hitoshi Kawakatsu | 4. 巻 94 |
| 2. 論文標題 Thai Seismic Array (TSAR) Project | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Bulletin of the Earthquake Research Institute | 6. 最初と最後の頁 1-11 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| 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 |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Yamaya, L., A.F.E. Borgeaud, K. Kawai, R.J. Geller, K. Konishi | 4. 巻 282 |
| 2. 論文標題 Effects of redetermination of source time functions on the 3-D velocity structure inferred by waveform inversion | 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 117-143 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2018.04.012 | 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 Nishi, M., S. Greaux, S. Tateno, Y. Kuwayama, K. Kawai, T. Irifune, S. Maruyama | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 High-pressure phase transitions of lunar highland anorthosite in the deep Earth's mantle | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Geoscience Frontiers | 6. 最初と最後の頁 1859-1870 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gsf.2017.10.002 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------|
| 1. 著者名 Sakuma, H., K. Kawai, I. Katayama, S. Suehara | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 What is the origin of macroscopic friction? | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Science Advances | 6. 最初と最後の頁 1-6 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aav2268 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Komatsu, G., R. Ishimaru, N. Miyake, K. Kawai, M. Kobayashi, H. Sakuma, and T. Matsui | 4. 巻 329 |
| 2. 論文標題 The Goshogake mud volcano field, Tohoku, northern Japan: An acidic, high-temperature system related to magmatic volcanism | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Geomorphology | 6. 最初と最後の頁 32-45 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomorph.2018.12.035 | 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 - |

[学会発表] 計21件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 17件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 鈴木 裕輝, 河合 研志, ゲラー ロバート |
| 2. 発表標題 Mantle flows in the lowermost mantle beneath the Northern Pacific inferred by 3-D waveform inversion for radially anisotropic structure |
| 3. 学会等名 JpGU2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 河合 研志, Borgeaud Anselme, 鈴木 裕輝, ゲラー ロバート |
| 2. 発表標題 Imaging subducted slabs in the mantle through inversion of seismic waveforms |
| 3. 学会等名 JpGU2020 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大滝 壽樹, 田中 聡, 金嶋 聡, Siripunvaraporn Weerachai, Boonchaisuk Songkhun, Noisagool Sutthipong, 河合 研志, Kim Taewoon, 鈴木 裕輝, 石原 靖, 宮川 幸治, 竹内 希, 川勝 均 |
| 2. 発表標題 Seismic structure near the inner core boundary in the north polar region |
| 3. 学会等名 JpGU2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kenji Kawai, Tsuyoshi Iizuka, Kenji Ohta, Taku Tsuchiya |
| 2. 発表標題 Interaction and Coevolution of the Core and Mantle in the Earth and Planets |
| 3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuki Suzuki, Kenji Kawai, Robert J. Geller |
| 2. 発表標題 Waveform inversion for 3D anisotropic structure in D" beneath the Northern Pacific: Constraints on mineralogy and flow in the lowermost mantle |
| 3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuki Suzuki, Kenji Kawai, Robert J. Geller, Satoru Tanaka, Weerachai Siripunvaraporn, Songkhun Boonchaisuku, Noisagool Sutthipong, Yasushi Ishihara, Tawoon Kim, Koji Miyakawa, Nozomu Takeuchi |
| 2. 発表標題 Detailed 3-D S-velocity structure within D" at the western Pacific LLSVP margin: smaller scale plumes and paleoslabs(Poster) |
| 3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shigenori Maruyama, Kenji Kawai, Greaux Steeve, Dapeng Zhao |
| 2. 発表標題 Origin and role of lost continents |
| 3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 奥田 花也, 河合 研志, 佐久間 博 |
| 2. 発表標題 第一原理計算による層状鉱物gibbsiteの摩擦特性の研究(Poster) |
| 3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Anselme F. E. Borgeaud, Kenji Kawai, Robert J. Geller |
| 2. 発表標題 3-D P- and S-velocity structure of the D layer beneath Central America and the Caribbean using waveform inversion |
| 3. 学会等名 JpGU2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Anselme F. E. Borgeaud, Frederic Deschamps, Kensuke Konishi, Kenji Kawai, Robert J. Geller |
| 2. 発表標題 Waveform inversion for the radial elastic and anelastic structure of the lowermost mantle beneath Central America and the Caribbean(Poster) |
| 3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Anselme F. E. Borgeaud, Frederic Deschamps, Kensuke Konishi, Kenji Kawai, Robert J. Geller |
| 2. 発表標題 Waveform inversion for the radial elastic and anelastic structure of the lowermost mantle beneath Central America and the Caribbean |
| 3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kenji Kawai |
| 2. 発表標題 Imaging subducted slabs in the mantle from inversion of seismic waves |
| 3. 学会等名 International Workshop for Geophysical observation in Thailand Present and Future (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kenji Kawai, Anselme F.E. Borgeaud, Yuki Suzuki |
| 2. 発表標題 Imaging subducted slabs in the lowermost mantle from inversion of seismic waveforms |
| 3. 学会等名 2019年度 日本地球化学会年会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H.Okuda, I.Katayama, H.Sakuma, K.Kawai |
| 2. 発表標題 Slip- and Velocity-Weakening Behaviors of Brucite Nanoparticle(Poster) |
| 3. 学会等名 The 7th International Conference on Coupled THMC Processes (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Toshiki Ohtaki, Satoru Tanaka, Satoshi Kaneshima, Weerachai Siripunvarporn, Songkhun Boonchaisuk, Sutthipong Noisagool, Kenji Kawai, Taewoon Kim, Yuki Suzuki, Yasushi Ishihara, Koji Miyakawa, Nozomu Takeuchi and Hitoshi Kawakatsu |
| 2. 発表標題 Seismic structure near the inner core boundary in the north polar region |
| 3. 学会等名 2019 AGU Fall Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鈴木裕輝, 河合研志, Robert J. Geller |
| 2. 発表標題 波形インバージョンによる北部太平洋下D”領域の3次元S波速度構造推定 |
| 3. 学会等名 日本地震学会秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山谷里奈, Anselme Borgeaud, 河合研志, Robert J. Geller, 小西健介 |
| 2. 発表標題 震源時間関数の再決定が波形インバージョンによる3次元速度構造推定に与える影響の定量的評価 |
| 3. 学会等名 日本地震学会秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 河合研志 |
| 2. 発表標題 西太平洋直下最下部マントルにおける3次元S波速度構造から見るイザナギプレートとLLSVP |
| 3. 学会等名 新学術領域研究 核 - マントルの相互作用と共進化 ~ 統合的地球深部科学の創成 ~ A03-1地震・電磁気観測班の合同班会議 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hiroshi Sakuma, Kenji Kawai, Ikuo Katayama, Shigeru Suehara |
| 2. 発表標題 The Origin of Macroscopic Friction between Single Crystal Mica Surfaces |
| 3. 学会等名 Second International Symposium on Crustal Dynamics(ISCD-2) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hanaya Okuda, Kenji Kawai, Hiroshi Sakuma, Ikuo Katayama |
| 2. 発表標題 First-Principles Investigation for Frictional Characteristics of Brucite and its Application for Macroscopic Frictional Characteristics of Sheet-Structure Minerals |
| 3. 学会等名 Second International Symposium on Crustal Dynamics(ISCD-2) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Komatsu, R. Ishimaru, K. Kawai, N. Miyake, M. Kobayashi, T. Matsui |
| 2. 発表標題 Sedimentary Records Of Ancient Mud Volcanism: How Do We Identify Mud Volcanoes In The Stratigraphy Of Mars? |
| 3. 学会等名 50th Lunar and Planetary Science Conference in The Woodlands (国際学会) |
| 4. 発表年 2019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 |
|-------|----------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | ボルジョ アンセルム (Borgeaud Anselme) | | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|----------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 鈴木 裕輝 (Suzuki Yuki) | | |
| 研究協力者 | 山谷 里奈 (Yamaya Lina) | | |
| 研究協力者 | 上 翼 (Ue Tsubasa) | | |

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 | | | |
|----------|----------------------|--|--|--|
| タイ | マヒドン大学 | | | |
| その他の国・地域 | Academia Sinica (台湾) | | | |