

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03716

研究課題名(和文)地震波形インバージョンによる内核境界近傍の詳細構造推定

研究課題名(英文)Waveform inversion for seismic structure near the inner core boundary

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) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では内核をサンプルするP波が伝播し強い水平方向不均質の存在が示唆される最下部マントルの影響を、内核構造推定の前段階として定量的に調べた。具体的には(Ⅰ)複数の地震波成分を使用する際には地震波速度異方性構造が影響し得るため、波形インバージョンを用いて地震波異方性構造推定を行った、(Ⅱ)既存の走時解析手法では推定が困難であったLLSVP(巨大S波低速度異常領域)内部の構造を波形インバージョンを用いて推定した、(Ⅲ)ICB近傍とマントル最下部のトレードオフを見積もるために、波形インバージョンを用いて固体中のP波速度(V_p)とS波速度(V_s)の同時推定を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

内核をサンプルするP波が伝播し強い水平方向不均質の存在が示唆されている最下部マントルの影響を定量的に調べた結果、最下部マントルのP波速度構造の解像度を大幅に改善できることに気がついた。そこで、これまでよりも短い周期のP波を用いて、最下部マントルの地域的な3次元S波P波速度構造を同程度の解像度でイメージングすることに成功した。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異方性構造および巨大S波低速度領域内部構造のイメージングに成功した。本研究では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)：This study quantitatively investigated the effect of the lowermost mantle, where P-waves sampling the inner core propagate and strong horizontal heterogeneity exists. Specifically, (I) we used waveform inversion to estimate the seismic anisotropy structure because the seismic velocity anisotropy structure may be affected when multiple seismic wave components are used, (II) we used waveform inversion to estimate the structure within the LLSVP (large low S-wave velocity province), which was difficult to estimate using existing traveltime analysis methods, which was difficult to estimate using existing traveltime analysis methods. (III) Simultaneous estimation of P-wave velocity (V_p) and S-wave velocity (V_s) in the solid using waveform inversion to estimate the trade-off between the vicinity of the inner core boundary and the deepest part of the mantle.

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 固体液体境界 内核外核境界 核マントル境界

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球中心核は鉄合金で構成される液体の外核と固体の内核から成る。外核の対流はダイナモ運動を駆動し地球磁場を生成するので、地球表層環境及び生命の進化と密接に関連している。この対流は、内核境界(ICB)では内核の成長(鉄の固化)に伴って、放出される潜熱によって駆動される熱対流と、析出した軽元素に富む軽い流体が駆動する組成対流、の二つの効果の組み合わせである。地球ダイナミクスの研究によれば、内核は現在約 0.5mm/年の速さで成長しており(Labrosse+ 2001; Aubert+ 2008)、外核の活発な対流によって内核直上を含む外核の組成及び温度分布は均質であると考えられていた(Stevenson 1981)。一方で、地震学的な研究では、Jeffreys (1927)が内核直上の低速度異常を指摘して以来、この領域の構造が精力的に推定されてきた(e. g., Tanaka+ 1997)。しかしながら、推定された構造はモデル間で異なっており、内核の熱化学成長様式・履歴を理解するために、先行研究と比べてより高い解像度で構造推定を行うことが望まれていた(Deuss 2014)。

ICB直上数100kmの外核最下部の構造は現在の内核の成長様式を反映するため、この領域の地震学的構造をより高い解像度で推定し、低速度異常の有無、あるとすればその規模(厚みと度合い)を詳細に推定することが望ましい。一方、ICB直下数10-100kmの熱境界層を含む内核最上部500kmの構造は、過去数億年の内核の成長履歴を反映するため、ICB直下500kmの詳細なP波速度構造の深さ依存性(1次元構造)を詳細に調べることが重要である。

2. 研究の目的

本申請研究の目的は、局所的な波形インバージョン法を用いて、ICB直上・直下500kmのP波速度構造を鉛直方向50km以下のスケールで推定し、推定されたP波速度構造を最新の鉱物物理学の結果と対照して、現在の内核の熱・化学成長の様式、および過去数億年の内核の成長履歴を見積もることである。

3. 研究の方法

(1) 偏微分係数波形計算ソフトウェアの並列化および効率化

外核(液体)中における密度及び弾性定数 κ の摂動に対する1次元偏微分係数計算ソフトウェアはKawai(2006)に基づいて作成済である。本研究で取り扱うP波はS波と比較して卓越周期が短いので(~ 1 秒)、MPIを用いた並列化を行い、さらにデータ解析のための前処理の効率化を図る。

(2) データセットの作成

世界各地のアレイ観測で得られた広帯域地震波形データをIRIS(GSN, USArray, PASSCAL), ORFEUS, NIED等のデータセンターから、 $M_w \geq 5.5$ 、震源深さ150km以深の地震イベントの地震波形データを収集する。観測機器特性を除去し、理論波形と比較して振幅比、相関係数等の基準を満たすものを選別し、データセットとする。

(3) PKPbc, PKiKP及びPKIKP等の感度カーネル計算及び解像度の見積もり

PKPbc, PKiKP, PKIKP等のフェーズの、ICB直上・直下の感度カーネルを計算する。そして、ICB直上・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、並列化した液体中((1)で実装済)及び固体中の偏微分係数波形計算ソフト(開発済)を用いて、強い水平方向不均質の存在が明らかになっているマントル最下部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、ICB直上・直下の弾性定数に摂動を与えた場合の偏微分係数の相互相関を計算して、マントル最下部とICB近傍の地震波速度構造のトレードオフを定量的に見積もる。

(4) ICB直上・直下500kmの1次元P波速度構造推定

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、ICB直上・直下500kmの1次元速度構造を推定する。そのとき、推定対象のICB近傍の構造と外核最上部及びマントル最下部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。

(5) ICB直下500kmの3次元P波速度構造推定

波形インバージョン法を実行し、解像度を見積もりつつICB直下500kmの3次元地震波速度構造を推定する。(4)で推定した1次元P波速度構造を初期モデルとして、ICB直上・直下500kmの地震波速度構造の同時推定を行う。

4. 研究成果

研究開始当初は内核最上部のP波速度構造推定を目的としていたが、本研究では内核をサンプルするP波が伝播し強い水平方向不均質の存在が示唆される最下部マントルの影響を、内核構造推定の前段階として定量的に調べた。具体的には(1)複数の地震波成分を使用する際には地震

波速度異方性構造が影響し得るため、波形インバージョンを用いて地震波異方性構造推定を行った、(2)既存の走時解析手法では推定が困難であった LLSVP(巨大 S 波低速度異常領域)内部の構造を波形インバージョンを用いて推定した、(3)ICB 近傍とマントル最下部のトレードオフを見積もるために、波形インバージョンを用いて固体中の P 波速度(V_p)と S 波速度(V_s)の同時推定を行った。以下では各成果を詳細に記述する。

(1) 地震波異方性構造の推定を行うためには、観測地震波形の水平 2 成分を解析し、2 つのパラメータ (S 波速度に関連する二つの弾性定数) を同時に推定する手法を開発する必要があった。そこで、地震波解析手法「波形インバージョン法」を改良し、複数成分の地震波形を解析して複数のパラメータを同時に推定できるよう拡張した。その手法を用いて、稠密地震観測網 USArray で観測された膨大な地震波形記録の水平 2 成分を世界に先駆けて解析した (Suzuki et al., 2021, PEPI)。その結果、北部太平洋下のマントル最深部を対象領域として、世界最高解像度 (既存の 3 次元構造推定モデルの約 100 倍 (=5³ 倍) の解像度) の 3 次元地震波異方性 構造の推定に成功した。高圧実験および鉱物物理学の最新の知見と対照することにより、約 2 億年前に地表から沈み込んだ海洋プレートがマントル最深部に到達して折れ曲がり、押しのかた温かい物質からなる上昇流を誘発することが明らかになった。今回得られた地震波異方性構造は、地表のプレート運動が 2900 km 深度のマントル最深部の対流運動に影響を与えていることを示唆する。

(2) 最近公開されてきているアフリカ大陸の地震波観測網のデータを活用し、そのデータから情報を余すことなく引き出すことができる波形インバージョンを行うことで、アフリカ LLSVP 西側境界域にあたる南大西洋下の D'' 領域(最下部マントル)の詳細な 3 次元 S 波速度構造を推定した。使用した波形データは深発およびやや深発地震からの地震波を震央距離 70-100 度で観測したおよそ 3600 本の広帯域地震波形のトランスバース成分であり、IRIS から取得した。0.005-0.1 Hz の周波数帯のフィルターをかけ、S および ScS フェーズを含む時間窓を使用した。限られたデータの中で可能な限り高い解像度を維持したままインバージョン結果を安定させるために、可変グリッドインバージョンを行うための手法を開発して適用した (Otsuru+ JpGU 2023)。得られた 3 次元 S 波速度構造モデルには、ブラジルの下に 500 km スケールの高速度域が複数みられた他、南大西洋下のコア-マントル境界 (CMB) 直上に複数の小スケール (直径 500 km 程度) の低速度域が確認された。このうちブラジル下の高速度域は過去のファラロンプレートの沈み込み帯の位置に沿って複数並んでいることから、ファラロンスラブが D'' 領域に到達するまでの間に幾つかの部分に柱状に分裂したものと考えられる。一方、CMB 直上の低速度域は従来の全マントルトモグラフィで LLSVP とされてきた領域の内部だけでなくその西側にも存在しているが、LLSVP が CMB 直上で薄い層 (厚さ 200 km 程度) として西側に伸びているとするフォワードモデリングの研究 (Ni & Helmlberger 2003) と概ね整合的である。南大西洋下の CMB 直上に複数の小スケールの低速度域が確認されたことから、LLSVP は細い上昇流の集合体であることが示唆された。

(3) 波形インバージョン法を用いて固体中の P 波速度(V_p)と S 波速度(V_s)の同時推定を可能にするために、体積弾性率(κ)と剛性率(μ)の偏微分係数波形計算を行い、両者の解像度を定量的に見積もった。内核をサンプルする P 波は強い水平方向不均質の存在が示唆されている最下部マントルも伝播するため、内核構造推定の前段階として最下部マントルにおける P 波および S 波に関連する 2 つの等方弾性定数(κ と μ)の応答性を調べ、中米下を例にとり波形インバージョンにより 3 次元 $V_s \cdot V_p$ 構造推定を目指した。同じ周波数を持ち核マントル境界(CMB)上部に情報を持つ参照波と境界波の P 波および S 波のペア(相対波形)については、(i) S 波に比べて P 波の波長は長く空間解像度が低いこと、(ii) CMB で反射する P 波は低い S/N 比のために最下部マントルの情報をあまり持たないこと、(iii) 直達 P 波の後半半波長が最下部マントルの情報を持つことをわかった。そのため、直達 P 波の波形データを増やすために浅い地震(約 50km 深度)を含めやや高周波(約 0.2 Hz)の鉛直・放射成分波形をデータセットに加えた。定量的な解像度テストによれば、作成したデータセットは中米下の最下部マントル領域全体において $V_s \cdot V_p$ ともに同程度の解像度を持つことが確認された。その上で、波形インバージョンを行い中米下最下部マントル領域の $V_s \cdot V_p$ 構造推定を行った。推定結果より沈み込んだ Farallon スラブが最下部マントル全域に到達していることを明らかにした。また、CMB 直上 200-400 km の東側領域には化学的不均質構造が存在している事を示唆し、その候補として海洋地殻成分物質が濃集している可能性を提示した (Sato+ JpGU 2023)。

本研究では内核最上部の P 波速度構造推定を目的として、内核をサンプルする P 波が伝播し強い水平方向不均質の存在が示唆されている最下部マントルの影響を定量的に調べた。その結果、直達 P 波の波形中でもタイムウィンドウに依ってマントル中に感度を持つ深さが異なることがわかり、大量の浅発地震を含めたデータセットを作成することにより、最下部マントルの P 波速度構造の解像度を大幅に改善できることに気がついた。そこで、これまでよりも短い周期の P 波を活用することによって、最下部マントルの地域的な 3 次元 S 波 P 波速度構造を同程度の解像度でイメージングすることに成功した。その結果、中米下に沈み込んだ Farallon スラブが最下部マントル全域に到達していることを明らかにした。また、CMB 直上 200-400 km の東側領域に

は化学的不均質構造が存在している事を示唆し、その候補として海洋地殻成分物質が濃集している可能性を提示することができた(Sato+ 2023 JpGU)。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異方性構造(Suzuki+ 2021 PEPI)および LLSVP 内部構造(Otsuru+ 2023 JpGU)のイメージングに成功した。内核最上部のP波速度構造推定には及ばなかったが、本研究では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、本研究で得られた固体液体境界近傍におけるP波の有限周波数の影響に対する知見を踏まえれば、従来研究よりもより多くの波形を活用できることが見込まれるため、内核最上部の詳細な地震波速度構造を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 6件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Sakuma Hiroshi, Katayama Ikuo, Kawai Kenji, Tamura Kenji	4. 巻 243
2. 論文標題 A small amount of water reduces the friction of the preferentially oriented montmorillonite gouge	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Clay Science	6. 最初と最後の頁 107058 ~ 107058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.clay.2023.107058	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 Tsuchiya Taku, Nakagawa Takashi, Kawai Kenji	4. 巻 -
2. 論文標題 Numerical Examination of the Dynamics of Subducted Crustal Materials with Different Densities	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Core-Mantle Coevolution: A Multidisciplinary approach	6. 最初と最後の頁 103 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/9781119526919.ch6	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 Funahashi Ikuchi, Kobayashi Ryo, Ohmura Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Molecular dynamic simulations of elastic wave pulses in a copper crystal and a harmonic spring-beads system	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Springer Proceedings in Physics	6. 最初と最後の頁 -
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 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 Ruj Trishit, Komatsu Goro, Kawai Kenji, Okuda Hanaya, Xiao Zhiyong, Dhingra Deepak	4. 巻 377
2. 論文標題 Recent boulder falls within the Finsen crater on the lunar far side: An assessment of the possible triggering rationale	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 114904 ~ 114904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2022.114904	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 Ruj Trishit, Komatsu Goro, Schmidt Gene, Karunatillake Suniti, Kawai Kenji	4. 巻 14
2. 論文標題 Tectonism of Late Noachian Mars: Surface Signatures from the Southern Highlands	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 5664 ~ 5664
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs14225664	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 印刷中
2. 論文標題 Atomic-scale interlayer friction of gibbsite is lower than brucite due to interactions of hydroxyls	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2022-8561	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 Konishi, K., A.F.E. Borgeaud, K. Kawai, R.J. Geller	4. 巻 92
2. 論文標題 ANISotime: Travel time computation software for laterally homogeneous, transversely isotropic, spherical media	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 3811-3820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/Q220200306	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 Suzuki, Y., K. Kawai, R.J. Geller	4. 巻 321
2. 論文標題 Imaging paleoslabs and inferring the Clapeyron slope in D beneath the northern Pacific based on high-resolution inversion of seismic waveforms for 3-D transversely isotropic structure	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 106751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2021.106751	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 Ruj, T., K. Kawai	4. 巻 369
2. 論文標題 A global investigation of wrinkle ridge formation events; Implications towards the thermal evolution of Mars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 114625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2021.114625	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 De, K., T. Ruj, A. Kundu, N. Dasgupta, K. Kawai	4. 巻 121
2. 論文標題 Evolution of Pyrrhae Fossae, Mars: An explication from the age estimation using the buffered crater counting technique	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Science	6. 最初と最後の頁 906-911
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

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 大鶴啓介, 河合研志
2. 発表標題 Adaptive grid waveform inversion for the 3D S-wave velocity structure in D beneath the Southern Atlantic
3. 学会等名 大鶴啓介, 河合研志
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤嶺, 河合研志
2. 発表標題 Constraining 3-D S- and P-velocity structure of D beneath the Central America from multiple component data using waveform inversion
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ, 千葉 (05/25/2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 船橋郁地, 小林亮, 大村訓史, 河合研志
2. 発表標題 Oscillation properties of microcrack-bearing -quartz derived from molecular dynamics simulations
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ, 千葉 (05/26/2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ikuchi Funahashi, Ryo Kobayashi, Satoshi Ohmura, Kenji Kawai,
2. 発表標題 Molecular Dynamic Simulations of Elastic Wave Interaction with Microcracks in -Quartz Crystal.
3. 学会等名 CCP2023 Kobe International Conference Center, Kobe Port Island, Kobe, Japan (08/06/2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤嶺, 河合研志
2. 発表標題 波形インバージョンによる地震波3成分を用いた中米下D 領域の三次元S・P波速度構造推定
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会, パシフィコ横浜, 神奈川 (11/02/2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大鶴啓介, 河合研志
2. 発表標題 3成分を使用した波形インバージョンによる南大西洋下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, パシフィコ横浜, 神奈川 (11/02/2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤友彦, 庄司真史, 小林佑介, 河合研志
2. 発表標題 バーチャル巡検：360度画像を用いた地学教材のオンライン授業での実践
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会 (05/22/2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤嶺, 鈴木裕輝, 河合研志
2. 発表標題 Inferring 3-D S- and P-velocity structure of D" beneath the Central America using waveform inversion,
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会 (05/22/2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大鶴啓介, 鈴木裕輝, 河合研志
2. 発表標題 波形インバージョンによる南大西洋下D"領域の3次元S波速度構造推定,
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会 (05/22/2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sanefumi Shoji, Tomohiko Sato, Kenji Kawai, Koji Imai, Yusuke Kobayashi
2. 発表標題 Development of BYOD-style Horizontally and vertically Movable Virtual Reality Field Trip Tool for Earth Science,
3. 学会等名 Geo SciEd IX2022, Shimane (08/23/2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤嶺, 河合研志
2. 発表標題 波形インバージョンによる中米下D 領域の三次元S・P波速度同時構造推定,
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会, 北海道立道民活動センター「かでの2・7」, 北海道 (10/26/2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大鶴啓介, 河合研志
2. 発表標題 波形インバージョンによる南大西洋下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, 北海道立道民活動センター「かでの2・7」, 北海道 (10/26/2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keyur De, Makito Kobayashi, Trishit Ruj, Kenji Kawai,
2. 発表標題 Water Activity Along the Extensional Fossae Present on the Orcus Patera Floor.
3. 学会等名 Poster Session, The Woodlands, TX/Virtual (03/09/2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenji Kawai,
2. 発表標題 Waveform inversion for the 3-D S-wave velocity structure inside the LLSVPs,
3. 学会等名 The 4th Meeting of the Study of Planetary Deep Interiors, Ehime Univ., Ehime (03/15/2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Trishit Ruj, Masanori Kameyama, Kosuke Kurosawa, Tomohiro Usui, Kenji Kawai,
2. 発表標題 Is the Hellas Impact Responsible for Extensional Structures and Volcanism in and Around the Southern Highlands of Mars?
3. 学会等名 Poster Session, The Woodlands, TX/Virtual (03/14/2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Trishit Ruj, Goro Komatsu, Kenji Kawai, Hanaya Okuda, Zhiyong Xiao, Deepak Dhingra
2. 発表標題 Recent boulder falls within the Finsen crater, an assessment of ongoing geological activities
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Suzuki, Kenji Kawai, Robert J. Geller
2. 発表標題 Imaging paleoslabs and inferring the Clapeyron slope and heat flow in D" beneath the northern Pacific based on high-resolution inversion of seismic waveforms for 3-D transversely isotropic structure
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenji Kawai
2. 発表標題 Imaging paleoslabs and inferring the Clapeyron slope and heat flow in D" beneath the northern Pacific based on high-resolution inversion of seismic waveforms for 3-D transversely isotropic structure
3. 学会等名 seismology frontiers (招待講演)
4. 発表年 2021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	鈴木 裕輝 (Suzuki Yuki) (70897785)	東京工業大学・理学院・研究員 (12608)	削除：2021年11月22日

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	Mahidol University			