

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03811

研究課題名(和文) 数値シミュレーションによる Gondwana 大陸東縁での大陸分裂のメカニズムの解明

研究課題名(英文) Study on the mechanism of continental breakup at the eastern margin of Gondwanaland by numerical simulations

研究代表者

吉田 晶樹 (Yoshida, Masaki)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(火山・地球内部研究センター)・主任研究員

研究者番号：00371716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000 円

研究成果の概要(和文)：約1億年前の大陸分布を初期状態とした三次元全球マントル対流数値シミュレーションを実施した。その結果、対流が安定化するにつれて Gondwana 大陸東縁に沿って広範な沈み込み帯が発達することが分かった。さらに、二次元粘弾塑性・熱組成対流モデルを用いた数値シミュレーションによって、海溝の後退により大陸縁辺域に伸張応力が働く条件下でのリフティングを再現した。大陸の伸張速度等を系統的に変化させて計算した結果、約1600万年以内で大陸が分裂することが分かった。当時の Gondwana 大陸東縁下に大規模なマントルブルームが存在しなかった可能性も考慮すると、ジューランドシア形成の主原因が海溝の後退であったことが支持される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大陸(あるいは、超大陸)の中心部で大陸分裂が開始するきっかけは、マントル深部からの積極的な上昇ブルームであると考えられている。一方、大陸縁辺域での大陸分裂のメカニズムは未解決であった。これを調べることは、約1億年前の Gondwana 大陸からのジューランドシア(第七の大陸)の分裂だけではなく、約2000万年前に我々が住む日本列島がユーラシア大陸からどのように分裂したかを理解する上でも重要である。本研究の数値シミュレーションの結果は、マントル深部からの上昇ブルームがなくても、海溝の後退、つまり、沈み込みプレートの海側への後退によって大陸縁辺域に伸張応力が働くことで大陸分裂が起こる可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：We performed numerical simulations of 3D global mantle convection to investigate the mantle convection pattern and surface tectonic condition at ca. 100 Ma. We found that an extensive subduction zone developed preferentially along the eastern margin of Gondwanaland when the temperature anomaly of the lower mantle was considered at the initial state of the simulation. In addition, we performed a series of 2D numerical experiments of visco-elasto-plastic thermo-chemical convection to investigate the localization of strain in the extending continental lithosphere. We found that the time taken for seafloor subsidence and subsequent continental breakup under extensional stress is less than ca. 20 million years. During continental rifting, high-shear zones developed under the base of the deforming continental lithosphere. The present results supported one of the proposed hypotheses, where the breakup at the eastern margins of Gondwanaland occurred via trench retreat.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：Gondwana大陸 ジューランドシア 海溝後退 大陸リソスフェア マントル対流 大陸分裂 プレート運動 数値シミュレーション

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。

## 1. 研究開始当初の背景

超大陸パンゲアが存在していた約 2 億年前には、その縁を広く取り囲むように沈み込み帯が発達していたと考えられる。パンゲアの南半分を構成していた Gondwana 大陸の分裂は約 1 億 8000 万年前から段階的に進んだが、その最終段階として約 1 億年前から「ジーランディア」が Gondwana 大陸から分裂し始めた(引用文献、 )。

ジーランディアは「第七の大陸」として知られ、現在ではその 94% の領域が海水面下にある。Gondwana 大陸東縁からジーランディアが分裂したメカニズムについては対極的に二つのモデルが提案されている。一つはマントル深部からの上昇ブルームの浮力によって引き伸ばされたとするシナリオであり、もう一つは全地球的なプレートの相互運動に伴う海溝の後退によって、Gondwana 大陸東縁に見かけ上の「吸い込み力」が働いて引き伸ばされたとするシナリオである。

地球表層で観察される地球史スケールのテクトニックな変動はマントルの物性構造の空間変化と密接な関係がある。例えば、上部・下部マントルの境界では粘性率が数 10 倍から 100 倍程度増加し、沈み込んだプレートがその境界に達して一時的に水平方向に横たわったり下部マントルに突入したりすると、粘性率の高い下部マントルからの粘性抵抗によって、地球表層で一定の速度で水平運動するプレートと力学的な不均衡が生じる。また、コア・マントル境界上の熱境界層を起源とし、アフリカ下と南太平洋下に存在する二つの大規模な高温領域(地震波低速領域)の存在は、上部マントルにグローバルスケールの水平方向の流れを生み、それが世界各地で沈み込むプレートの振る舞いにも影響を与えたとされている。

つまり、活動的大陸縁で起こるさまざまな地学現象(火山活動、大陸の生成、リフティング、大陸分裂など)の理解の深化は、グローバルな視点でのマントルダイナミクス研究と切り離すことはできない。上記のジーランディア分裂の二つのシナリオを考察することは、さまざまな観測量が得られる地球表層運動と、観測量が限られたマントルの活動との動的繋がり議論の根幹に関わる重要な問題であり、これは固体地球ダイナミクスの大きなテーマである。

## 2. 研究の目的

本研究では、三次元全球、あるいは、二次元矩形領域でのマントル対流・岩石流動の数値シミュレーションにより、Gondwana 大陸東縁での大陸分裂とジーランディア形成のメカニズムについて明らかにする。そして、マントルやリソスフェアの状態に関わる重要な物性値を系統的に変化させたパラメータ・スタディーにより、活動的大陸縁における大陸分裂のメカニズムの一般的理解を目指す。同時に、地震表面波によるトモグラフィーにより、本研究の数値モデルの構築に必要な豪州大陸下マントルの構造を解析する。

本研究のように、現在の地球表層の観測・調査データを最大限に活用して想定しうる条件下で多くの数値モデルを構築し、過去の地球表層の状態と地球内部の構造を試行錯誤的に探ることは、これまで多くのマントル対流の大規模シミュレーション研究で行われてきた、現在の地球を「再現」するための一方向のパラメータ・スタディーとは一線を画するものである。従って本研究は今後のマントルダイナミクス研究があるべき指針や方向性の一つを示す目的もある。

## 3. 研究の方法

- (1) まず、Gondwana 大陸東縁が分裂を始めた当時の全地球的なマントルの内部活動と地球表層の状態について調べるために、三次元全球マントル対流の数値シミュレーションを実施した。マントルは粘性流体を仮定し、粘性率は温度、鉱物相、化学組成(大陸とマントルの違い)に依存させ、表層に降伏応力を導入した。シミュレーションの初期条件として必要なマントルの温度構造は、全球地震波トモグラフィーモデル(SEMUCB\_WM1、引用文献)から推定される現在のマントルの構造をもとに、Gondwana 大陸東縁下の深部マントルに高温領域が存在する場合と存在しない場合等について、さまざまなモデルを想定した。1 億 1000 万年前の各大陸の形状と配置はプレート復元ソフトウェア「GPlates」(引用文献)に使用されているデータを用いた。そして、大陸リソスフェアを空間的に固定させた状態で統計的定常状態になるまで計算し、地球表層のプレート運動のパターンを観察した。
- (2) (1) の研究と平行し、Gondwana 大陸東縁域を想定した厚い大陸リソスフェアが分裂するメカニズムを調べるために、二次元矩形領域での粘弾塑性・熱組成対流の数値シミュレーションを実施した。モデルの計算領域は水平方向に 400 km、鉛直方向に 300 km とし、上部・下部地殻を含む厚さ 200 km (及び、それ以下) の大陸リソスフェアとその下の上部マントルを考慮した。計算領域上面は疑似的な大気層(sticky air)を導入して自由変形境界とした。そして、海溝の後退による伸張応力が働く条件下を想定し、大陸の伸張速度を 1~4 cm/yr の間で変化させた。伸張速度は計算領域側面片側(東側)のみから伸張応力がかかる場合を基準モデルとして、側面両側(東西)から伸張応力がかかる場合についても計算を行った。さらに、マントルの含水量に依存する活性化体積についても、 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$  を基準として、0.0 から  $2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$  まで変化させ、計算結果に及ぼす影響を調べた。

#### 4. 研究成果

(1) 3 - (1) の結果、下部マンツルの温度場の初期条件として SEMUCB\_WM1 から推定した温度場を考慮したときのみ、対流が安定化するにつれて Gondwana 大陸東縁に沿った広範な海洋プレートの沈み込み帯が再現されることが分かった (図 1)。このことは、精細な古地磁気データを用いて復元された当時のプレート運動パターン (引用文献) と整合的に、マンツル深部の二つの大規模高温領域の分布に規定されるマンツル対流パターンが当時のプレート運動のパターンの再現に重要であることが示唆される。

上記の通り、ジールンディアが約 1 億年前に Gondwana 大陸東縁から分裂を開始した原因は、マンツル深部からの能動的上昇流によって大陸プレートに局所的な伸張応力が働いたという考えと、海溝の後退に伴って大陸プレートに伸張応力が働いたというシナリオがあった。

しかしながら、現在の世界中に存在する大小さまざまな規模のホットスポットの分布を多くの文献からまとめると、当時の Gondwana 大陸東縁下付近にあったとされるホットスポットは、浮力流量 (buoyancy flux) にして、せいぜい  $1 \text{ Mg/s}$  以下の非常に小規模なホットスポット数個のみである。ホットスポットの位置が現在までの約 1 億年間ほとんど変わらなかったと仮定すると、これらのホットスポットを作ったマンツルブルームが Gondwana 大陸東縁域の分裂の直接のきっかけになったとは考えにくい。

(2) そこで、上記の 4 - (1) の結果に基づき、Gondwana 大陸東縁に沿って広範な海洋プレートの沈み込み帯があったと仮定したときに、その海洋プレートの海側への後退 (海溝の後退) によって現実的な時間スケールで大陸分裂が起こるかどうかが、さらに、そのメカニズムを詳細に調べる必要性が生まれた。

研究方法 3 - (2) の結果、アイソスタティックな地表面の沈降とともに、大陸リソスフェアのリフティングが再現された。大陸リソスフェアの伸張速度が  $1 \text{ cm/yr}$  の場合、約 1580 万年で大陸分裂が完了することがわかった (図 2)。これは与えた大陸の厚さと伸張速度から単純計算で推定される時間 ( $200 [\text{km}] / 1 [\text{cm/yr}] = 2000$  万年) よりも約 400 万年早い。なお、伸張速度を 2、3、4  $\text{cm/yr}$  とした場合では、それぞれ、約 860 万年、約 610 万年、約 470 万年となり、やはり単純計算からの 1000 万年、670 万年、500 万年よりも早い。リフティングが加速される理由は、引き伸ばされて変形する大陸リソスフェアの直下に沿って局所的なマンツルの高歪速度領域が発達し、これによる低粘性のマンツルが大陸リソスフェアを効果的に浸食してリフティングを加速させるためだと考えられる。

したがって、4 - (1) の結果と合わせると、約 1 億年前から約 8300 万年前 (この間、約 2000 万年弱) にかけて Gondwana 大陸東縁が分裂し、ジールンディアが形成された原因は、Gondwana 大陸東縁に沿った沈み込みプレートの後退によって大陸東縁に伸張応力が働いた結果という考えが支持される。そして、現在に至るまでにアイソスタティックな影響によってジールンディアの大部分が海水面下に沈降していったと推定される。

海溝の後退によって見かけ上の「吸い込み力」が大陸縁辺に働いて海側に引っ張られて分裂する際、マンツル (アセノスフェア) が広範囲に地表面に剥き出しにならないのは、大陸リソスフェア直下に高歪速度領域 (低粘性領域) が集中し、厚い大陸リソスフェアを徐々にくさび上に分裂させ、その低粘性の先端部がまず地表面に現れるからかもしれない。線上に分布する海嶺の存在が地球のプレート配置の重要な構成要素であることを考えると、地球表層でのプレート同士の相互運動によって破局的なプレートの破壊が起こらないのはこのためであるとも言える。したがって、本研究の結果は、当初の期待を超えてプレートテクトニクスの本質の理解に一步近づいたと考える。

粘塑性かつニュートン流体ではなく粘弾塑性かつ非ニュートン流体を考慮した二次元数値シミュレーションは、当初の計画にはなかった。岩石の変形実験に基づく地殻、リソスフェア、マンツルの流動則をより厳密に考慮したシミュレーションが実施できた結果、大陸地殻の薄化に伴う地表面のアイソスタシー沈降を再現することができ、大陸縁辺域での大陸分裂の一般的なメカニズムに関する理解が当初の期待よりも深まった。

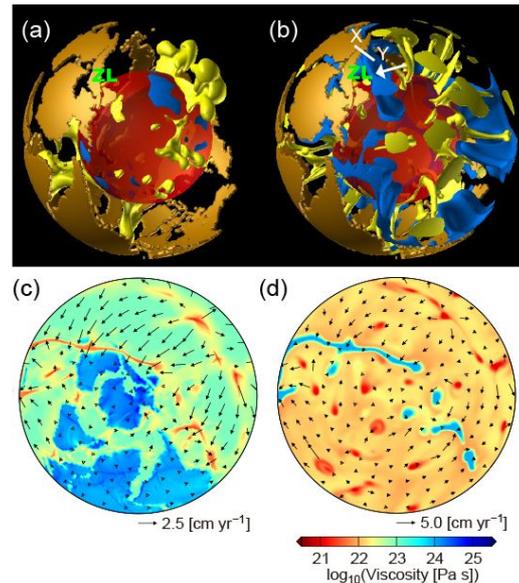


図 1. 計算開始直後 (a) と対流が安定化した段階 (b) でのマンツル対流の温度異常構造の三次元可視化図。広範な沈み込み帯が形成された時間の地表付近 (c) とマンツル内部 (d) の粘性率分布 (Yoshida et al., 2020a, Tectonophys.)

また、本研究の結果は、マントル上昇流による加水融解の効果も考慮しなくても、地質学的に合理的な時間スケールで大陸縁の分裂が可能であることを示した。この結果は、ジューランドシアの形成のみならず、約 2000 万年前に日本列島がユーラシア大陸東縁から分裂したメカニズムを今後考察する上でも重要な結果であると考えられる。

- (3) 大陸プレートの地震学的構造解析に関しては、豪州大陸周辺域のマルチモード表面波の位相速度情報を用いた新しい方位異方性モデルの構築を進めた。その結果、原生代から始生代のクラトン域と、顕性代の領域とを隔てるタスマン構造線の東西において、方位異方性の方向が大きく変化することが分かった。特にこの地域はタスマン海拡大に伴う大陸分裂の影響を強く受けた豪州大陸東縁部にあたり、分裂後のクラトンの根の空間分布が現在のマントル内部の流れ場に強く作用していることが示唆される。

当初、本研究の最大の研究課題であったゴンドワナ大陸縁辺域での大陸分裂のメカニズムの問題は、豪州大陸全体下のマントルの現在の構造や、豪州大陸を支えるクラトンの歴史を原生代にまで遡って考察し、その結果を将来の数値モデルに反映させる必要性があることに気付いた。そこで、本研究の研究参加者のこれまでの研究成果を主とし、地球物理学的研究と地震学的研究の両側面から大陸移動に対するクラトンの役割について総括した(図3)。その結果、クラトンの10億年スケールの安定化にはその周囲の低粘性の縫合帯(変動帯)の存在が必要であること、地震学的解析に基づき豪州大陸下の三つの太古代のクラトン間に存在する縫合帯がクラトンの長寿に重要な役割を果たしていることなどを議論した。

豪州大陸やジューランドシア周辺下のさらなる詳細なマントルダイナミクスやテクトニクな歴史については、地球物理学的、地震学的研究から今後も研究を継続していきたい。

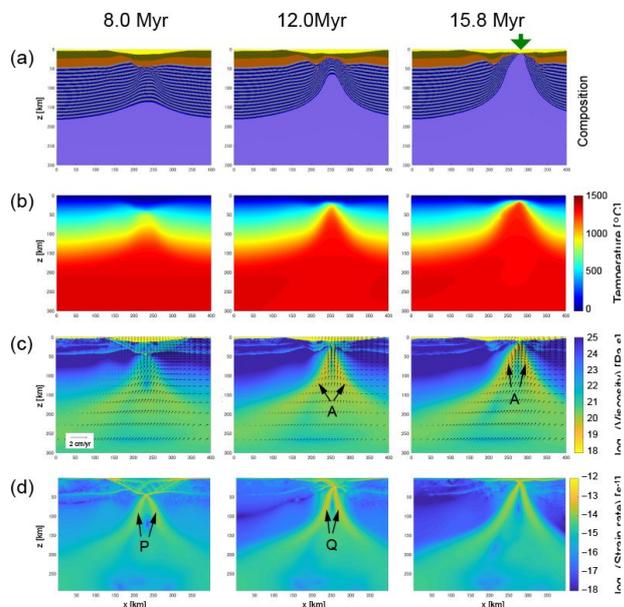


図2. 大陸リソスフェアの分裂の様子。左から右に時間が経過している。(a) 岩石種、(b) 温度、(c) 粘性率、(d) 歪速度の分布 (Yoshida et al., 2020b, Tectonophys.)

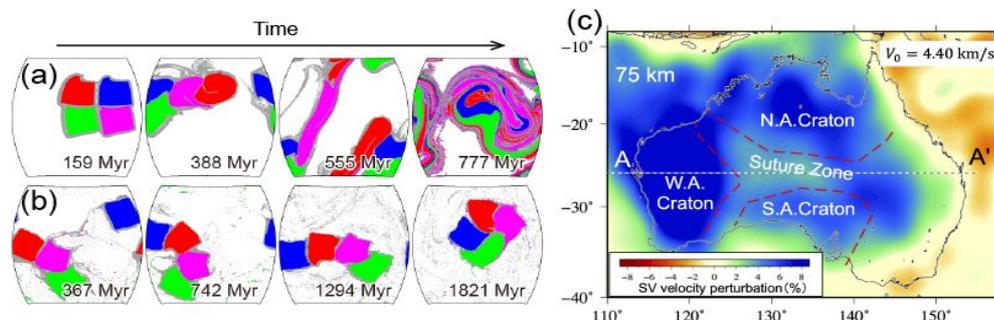


図3. 三次元モデルで大陸周辺に変動帯を考慮しない場合(a)と考慮した場合(b)の数値シミュレーション結果。(c)地震学的解析による豪州大陸下のクラトンと縫合帯の分布 (Yoshida and Yoshizawa, 2021, Annu. Rev. Earth Planet. Sci.)

#### [ 引用文献 ]

- Mortimer, N., Campbell, H.J., 2014. *Zealandia: Our Continent Revealed*. Penguin, Auckland, New Zealand, 272 pp.
- Mortimer, N. et al., 2017. *Zealandia: Earth's hidden continent*. *GSA Today*, 27(3), 27–35.
- French, S.W., Romanowicz, B.A., 2014. Whole-mantle radially anisotropic shear velocity structure from spectral-element waveform tomography. *Geophysical Journal International*, 99(3), 1303–1327.
- Seton, M. et al., 2012. Global continental and ocean basin reconstructions since 200Ma. *Earth-Science Reviews*, 113(3–4), 212–270.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yoshida, M. and Santosh, M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Voyage of the Indian subcontinent since Pangea breakup and driving force of supercontinent cycles: Insights on dynamics from numerical modeling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geoscience Frontiers	6. 最初と最後の頁 1279-1292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gsf.2017.09.001	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 Yoshida, M.	4. 巻 31
2. 論文標題 On mantle drag force for the formation of a next supercontinent as estimated from a numerical simulation model of global mantle convection	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Terra Nova	6. 最初と最後の頁 135-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ter.12380	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 吉田 晶樹	4. 巻 34
2. 論文標題 プレートテクトニクス50年のいま	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 パリティ	6. 最初と最後の頁 59-61
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 -
1. 著者名 Cui, R., Fang, J., Yoshida, M., and Chen, M.	4. 巻 176
2. 論文標題 Modeling long-wavelength geoid anomalies from instantaneous mantle flow: Results from two recent tomography models	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Pure and Applied Geophysics	6. 最初と最後の頁 4335-4348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00024-019-02215-2	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 Yoshida, M., Saito, S., and Yoshizawa, K.	4. 巻 787
2. 論文標題 Possible tectonic patterns along the eastern margin of Gondwanaland from numerical studies of mantle convection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tectonophysics	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) 10.1016/j.tecto.2020.228476	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 Yoshida, M., Saito, S., and Yoshizawa, K.	4. 巻 796
2. 論文標題 Dynamics of continental lithosphere extension and passive continental rifting from numerical experiments of visco-elasto-plastic thermo-chemical convection in 2-D Cartesian geometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tectonophysics	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) 10.1016/j.tecto.2020.228659	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 Taira, T. and Yoshizawa, K.	4. 巻 223
2. 論文標題 Upper-mantle discontinuities beneath Australia from transdimensional Bayesian inversions using multimode surface waves and receiver functions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 2085-2100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggaa442	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 Yoshida, M. and Yoshizawa, K.	4. 巻 49
2. 論文標題 Continental drift with deep cratonic roots	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annual Review of Earth and Planetary Sciences	6. 最初と最後の頁 117-139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1146/annurev-earth-091620-113028	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12件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 吉田 晶樹
2. 発表標題 「地球まるごと数値シミュレーション」を目指した全地球ダイナミクス研究
3. 学会等名 流れと澗みを語る会2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田 晶樹
2. 発表標題 超大陸アメイジアと全地球ダイナミクス研究
3. 学会等名 一般社団法人日本免震構造協会 創立25周年記念免震フォーラム「日本・地球・未来」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saito, S., Sutherland, R., Dickens, G.R., Blum, P., and IODP Expedition 371 Scientists
2. 発表標題 Tasman frontier subduction initiation and Paleogene climate: Preliminary results from IODP Expedition 371
3. 学会等名 Australian Geoscience Council Convention 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村祐香, 吉澤和範
2. 発表標題 マルチモード表面波を用いたオーストラリア周辺域の上部マントル方位異方性
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和泉 美希, 吉田 晶樹, 平内 健一
2. 発表標題 海洋リソスフェアにおける沈み込み開始の数値シミュレーション実験: 含水鉱物のレオロジー特性の効果
3. 学会等名 Japan Geosciences Union 2019 Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nishimura, Y., Yoshizawa, K.
2. 発表標題 Multi-mode surface wave tomography for azimuthal anisotropy in the Australasian upper mantle
3. 学会等名 Japan Geosciences Union 2019 Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村祐香, 吉澤和範
2. 発表標題 マルチモード表面波による上部マントル異方的構造の推定: オーストラリア周辺域への応用
3. 学会等名 日本地震学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nishimura, Y., Yoshizawa, K., and Kennett., B.L.N
2. 発表標題 Radial and Azimuthal Anisotropy in the Australian Upper Mantle: Tectonic Implications for Tasman Line and Suture Zone
3. 学会等名 International Union of Geodesy and Geophysics 2019 General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshizawa, K. and Taira, T.
2. 発表標題 Upper mantle discontinuities beneath Australia from trans-dimensional hierarchical Bayesian inversions using receiver functions and multi-mode surface waves
3. 学会等名 EGU General Assembly 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Multi-mode surface wave tomography with trans-dimensional hierarchical Bayesian inversion: application to Australia
2. 発表標題 Yoshizawa, K. and Taira, T.
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshizawa, K. and Nishimura, Y.
2. 発表標題 Mapping azimuthal anisotropy in the Australasian upper mantle with multi-mode surface waves
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Radially anisotropic 3-D S-wave model using multi-mode surface waves: Comparisons of linearized and nonlinear Bayesian approaches
2. 発表標題 Yoshizawa, K. and Taira, T.
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 鳥海光弘代表編集（吉田晶樹は第2.7章担当、吉澤和範は第7.8章担当）	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 248
3. 書名 図説地球科学の事典	

1. 著者名 平 朝彦、国立研究開発法人 海洋研究開発機構（吉田晶樹は第7章コラム20担当）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 210
3. 書名 カラー図解 地球科学入門 地球の観察 地質・地形・地球史を読み解く	

1. 著者名 Donald Turcotte、Gerald Schubert、木下 正高、安藤 亮輔、岩森 光、沖野 郷子、片山 郁夫、加納 靖之、川田 佳史、木下 正高、坂口 有人、田中 愛幸、中西 正男、西山 竜一、山野 誠、吉田 晶樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 632
3. 書名 ジオダイナミクス 原著第3版	

〔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	斎藤 実篤  (Saito Saneatsu)  (40292859)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム 運用開発部門・次長   (82706)	

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 分 担 者	吉澤 和範  (Kazunori Yoshizawa)  (70344463)	北海道大学・理学研究院・准教授     (10101)	

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