

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01174

研究課題名(和文) 含水マントルウェッジ流体の化学組成と化学的性質：高圧実験併用型の地質試料解析

研究課題名(英文) An integrated study of the chemical property of mantle wedge fluids: Geological and experimental approach

研究代表者

辻森 樹 (Tsuji Mori, Tatsuki)

東北大学・東北アジア研究センター・教授

研究者番号：00436833

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：海洋プレート沈み込み帯でスラブ由来流体は母岩の鉱物相との元素分配や岩石-水流体相互作用で化学組成と酸素雰囲気を変えるため、特徴の制約が難しい。しかし前弧域の蛇紋岩に注目することで情報を解読できる可能性がある。本研究は蛇紋岩緩衝熱水系の地質と構成岩石を先端的な地球化学手法や高圧実験で記載し、含水マントルウェッジの理解を目指した。結果として、前弧蛇紋岩のホウ素同位体比の幅やフェンジャイトの微量元素、安定同位体比の変化などを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

沈み込み帯の水循環の理解は過去半世紀で大きく進展したが、水流体の化学的性質の理解は不十分であり、熱力学モデル構築のためのデータがまだ不足している。また、先端的な地球化学・鉱物学を用いた水流体の地質記録解析法もさらなる改良が求められている。本研究の成果は、島弧-海溝系における流体による元素移動と化学分化の定量的理解に貢献する。前弧域の蛇紋岩の特性解明は、地球化学や鉱物学に新たな知見を提供し、地球科学全般の発展に寄与する。

研究成果の概要(英文)：In subduction zones, fluids released from the subducting slab alter their chemical composition and oxidation state through interactions with host rock minerals, making their characteristics difficult to determine. By focusing on serpentine and associated high-pressure metamorphic rocks in the forearc mantle wedge, however, we can obtain more reliable information. This project used advanced geochemical methods and high-pressure experiments to study fluid properties at convergent boundaries. We revealed boron isotope ranges in forearc serpentinites, phengite's geochemical systematics in metamorphic slabs, and quartz solubility in alkaline solutions.

研究分野：地質学、岩石学

キーワード：プレート沈み込み帯 運動力学モデリング スラブ由来流体 相平衡モデリング 含水マントルウェッジ 水熱ダイヤモンドアンビルセル スラブ物質 蛇紋岩メランジュ 2次

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

プレートテクトニクス起動後の地球では、生成して間もない海洋地殻と上部マントルの一部が海底熱水循環で様々な程度に加水し、古い海洋プレート(スラブ)の沈み込みが、低い地温勾配を作る。沈み込むスラブは変成作用で高密度化し、含水鉱物の段階的な脱水分解によって上盤側のマントルウェッジへ水を放出してきた(図1)。スラブの脱水は低温部・浅部でマントルかんらん岩を蛇紋岩化し、高温部・深部ではフラックス溶融を誘発して(あるいは含水スラブの溶融で)島弧マグマを生成する。島弧マグマの分化と混合がマントル平均組成とは大きく異なった花こう岩質の大陸地殻を形成・成長させた結果、化学組成と年齢の点で地殻が二極化した。大陸の配置は沈み込み帯の位置を決め、沈み込むプレートの上盤(島弧・大陸地殻)を下から削る構造侵食が機能し、発熱源である放射性元素に富む大陸地殻物質をプレートに乗せてマントル深部へ供給する。近年の地震波トモグラフィと3次元シミュレーション及び、物質科学(岩石学・地球化学と実験岩石学)は全マントル規模の対流・攪拌を描像しており、プレート沈み込みによる物質分化・輸送が固体地球の不可逆的な化学進化を牽引していると言える。

1960年代、島弧マグマの成因が沈み込んだ海洋プレートから放出されるH₂O流体の関与で説明されるようになると、沈み込み帯での水循環の理解が加速的に進んだ。近年では地震・火山活動に関して地震波異方性・速度異常や高電気伝導度帯への関心の他、核-マントル境界領域の不均質構造及び、マントル内部の化学的不均質性を生み出す地殻物質と水のインプットの場として、さらには著しい同位体分別の場として、古い海洋プレート沈み込み帯における流体の定量的理解の重要性が増した。ところが、物質循環を追求する現状の相平衡モデリングでは純粋なH₂Oを流体化学組成として仮定するほかない。一方、島弧火山岩中のマントル捕獲岩や高圧-超高压変成岩・交代岩、前弧蛇紋岩に保存された流体包有物は「塩水」であり、普遍的にCO₂(またはCH₄)を含む。「塩水」の化学的性質は電気伝導度だけでなく、その溶解特性に大きく影響する。また、同位体トレーサーとして利用可能な炭素と硫黄の「塩水」への溶存は鉱物組成共生関係と酸素雰囲気にも強く影響する。実際、化石スラブ物質である高圧-超高压変成岩には、いわゆる変成流体の関与によってTi、Zr、Nb、Ta、Cr、Sr、Baなどの異常濃集がしばしば観察される。沈み込み帯の諸現象に関して、水(流体)の化学的性質が及ぼす影響の理解は未解決問題の1つである。「含水マントルウェッジに浸潤したスラブ由来の含CO₂-NaCl(KCl/LiCl)-S水流体がどのような組成-空間分布を呈し、それらがどのように元素移動を促進するのか?『岩石』(μmからkmスケールまで)に保存された流体とその痕跡から物質科学はどれだけの情報を定量化できるか?そして、沈み込むプレート上盤の蛇紋岩緩衝熱水系(蛇紋岩メランジュ)は地球史を通してどのように変遷したのか?」—これらの疑問に答えるためには、含水マントルウェッジが関与する化学分化の素過程の定量化とその経年変化の解読において、流体の定量的理解が欠かせない。そして、その定量的理解には先端的な地質試料解析に高压実験を併用する統合型アプローチが重要な鍵となる。

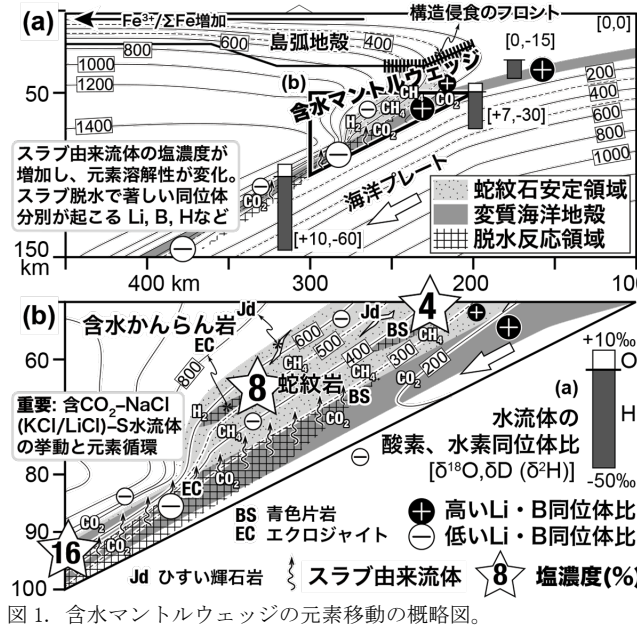


図1. 含水マントルウェッジの元素移動の概略図。

2. 研究の目的

沈み込み帯の水循環の理解は過去半世紀の間に大きく前進したが、水流体の化学的性質(溶存イオン・錯体種、溶解特性)の理解は不十分で、未だに熱力学的モデルを構築するだけのデータを欠く。沈み行くスラブと含水マントルウェッジにおける流体への元素の溶解性や鉱物の溶解度は、流体の化学的性質に強く依存する。もし、実験室で流体と鉱物が平衡にあった温度・圧力・酸素雰囲気を再現し、その場観察/分光測定によって水流体の化学的性質を決定できれば、伝統的な流体包有物の記載とホスト鉱物の局所(及び極少量) Li-B-Sr-Pb-C-O-H 同位体比分析によって明らかになりつつある沈み込み帯の水・元素循環機構が検証できるだけでなく、高压実験で得られる定量的データが、多成分流体の熱力学・相平衡モデリングの発展に大きく貢献する。本研究の目的は、(1) 厳選したプレート境界岩の流体地質記録を先端的分析地球化学・鉱物学の手法で系統的に記載し、流体の組成-空間分布を描像すること、そして、(2) 外熱式ダイヤモンドア

ンビルセルを用いた水流体-造岩鉱物系の高圧実験・その場観察を併用しながら、含水マントルウェッジ流体の化学的性質を明らかにし、その‘システムティクス’を体系化すること、である。定量性を担保した実験併用型の地質試料解析により、含水マントルウェッジに記録されたスラブ由来流体を読み解き、化学分別の効果を解明する。高圧実験を併用する統合型アプローチが導く知見を、原生代以降の厳選した地質試料に応用し、含水マントルウェッジの変成記録と流体記録を追跡する。そして、地球史を通した島弧マグマとマントル化学進化への紐付けを試みる。

3. 研究の方法

本研究は先端的な分析地球化学・鉱物学によって蛇紋岩メランジュ（化石含水マントルウェッジ）構成岩の流体包有物とその痕跡を系統的に記載し、水熱ダイヤモンドアンビルセルを用いた流体-造岩鉱物系その場観察/分光測定を併用することで、含水マントルウェッジ流体の化学組成と化学的性質（化学種・溶解特性）の‘システムティクス’の解読を試みた。特に、異なる時代の蛇紋岩メランジュ構成岩が保持する流体包有物と流体活動の痕跡を先端的な局所（及び極少量）微量元素・同位体比分析法を応用し、温度圧力条件の異なる個々の岩石試料から抽出される情報に基づき、含水マントルウェッジ流体の化学組成の空間分布とその変遷の追求を試みた。

(1) 先端的な分析地球化学・鉱物学による地質試料解析

含水マントルウェッジの広範囲の温度圧力条件をカバーする厳選した岩石・鉱物試料を研磨薄片にし、一次記載として偏光顕微鏡-顕微ラマン-FE-SEM[CL/EBSD]/EPMA を用いた変成履歴解析と、両面研磨薄片に顕微ラマンとマイクロサーモメトリーを用いた流体包有物の同定と塩濃度測定を実施した。試料が保持する流体の塩濃度を岩石学から読み解く $P-T-f(O_2)-f(S_2)$ 情報に紐付け、ホスト鉱物の微量元素濃度と同位体比（Li-B-Sr-Pb-C-O-H など）にもとづいて流体組成と起源を推定した。また、国内の蛇紋岩メランジュにおいて、流体記載情報を紐付けたアイソスケープの作成を実施した。さらに、FIB-TEM を用いたマイクロ-ナノ観察も実施、含水マントルウェッジ流体のシームレスな組成-空間分布データベース構築を進めた。

(2) 高圧実験（水熱 DAC）によるその場観察/分光測定

水熱ダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧実験とその場観察/分光測定については、800 μm のキュレットダイヤと径 400 μm ・厚さ 250 μm の試料室ガasketを使用した。この大きさのガasketによって十分な水-鉱物比を確保しながら液相のその場観察/分光測定を行った。地質試料が記録する条件を考慮しながら流体の化学種と溶解特性を決定するための実験を行った。

(3) 計算機実験

海洋プレート沈み込み帯において、含水マントルウェッジ蛇紋岩の動力学的な挙動（流れ）の予測と、変質海洋地殻に代表されるスラブ物質との化学的な混合（ハイブリダイゼーション）の予測のため、I2(I3)VIS コードによる動力学モデリングと、シュードセクション法による相平衡モデリングを実施した。

4. 研究成果

(1) 前弧域蛇紋岩の B 同位体比傾向

海洋プレート沈み込み帯において、スラブから放出される水流体（スラブ由来流体）は、化学平衡にあった母岩を構成する鉱物相との元素分配・同位体分別や流体が岩石中を移動する間の岩石-水流体相互作用によって、大きく化学組成と酸素雰囲気を変えうる。そのため、スラブ由来流体の化学的特徴を制約することは一般に容易ではない。しかしながら、前弧域の含水マントルウェッジに浸潤したスラブ由来流体については、前弧域の蛇紋岩に着目することで、より確からしい情報を解読できる可能性がある。本研究では前弧域の含水マントルウェッジを起源とする蛇紋岩、すなわち前弧域の蛇紋岩緩衝熱水系に着目し、沈殿交代岩脈及び蛇紋岩そのものを解析することで地球化学的プロパティの推定を試みた。特に、グローバルな前弧域の蛇紋岩の B 同位体比のリファレンス値を決めるためのデータベース構築が大きく進んだ。

B には質量数 10 と 11 が存在し、とくに ^{11}B は選択的に液相に分別するため、理想的には沈み込むスラブから放出される流体の B 同位体比は徐々に軽くなる（値が小さくなる）。したがって、スラブ由来流体の影響を直接被る含水マントルウェッジ蛇紋岩の B 同位体比は、深部ほど低くなることが予想される。実際、Martin et al. (2016) や Yamada, Tsujimori et al. (2019) が示したように、オロジェンに露出した蛇紋岩の B 同位体比により、B 濃度に関わらず、含水マントルウェッジの深部にあった蛇紋岩（あるいは沈み込んだ蛇紋岩）とそうでないものの識別がおおよそ可能である。ところが、B の同位体分別は温度によっても大きく変わるほか、pH の違いによっても変わる可能性がある。微量元素濃度による評価も効果的であるが、微量元素濃度は蛇紋岩化する以前のマントルかんらん岩のそれにも依存しうる。

本研究ではグローバルな前弧域の蛇紋岩の B 同位体比の幅を見極めるため、北米西岸、西南日本内帯、北上山地南部などの顕生代の前弧域由来の蛇紋岩について 420 点に達する B 同位体比データを得た（我々研究チームの先行研究も含める）（図 2）。B 同位体比は -12‰ から +30‰（B 濃度は 8-930 $\mu\text{g/g}$ ）と非常に大きな幅をもつものの、地質学的・岩石学的な評価からスラブ由来

流体が浸潤した前弧域の蛇紋岩が示しうる B 同位体比と濃度の特徴は、FM 型（フランスカン-マリアナ型）と JPP 型（日本古生代型）の 2 つの傾向が存在することが明らかとなった。本研究では、それぞれの B 同位体比と B 濃度の傾向を MWS-1（マントルウェッジ蛇紋岩-1）と MWS-2（マントルウェッジ蛇紋岩-2）と呼び、グローバルな前弧域の蛇紋岩のリファレンス値として提案可能なことを示した（辻森ほか，2023 地質学会）。

(2) スラブ物質の元素記録

フェンジャイト質白色雲母（フェンジャイト）は、高圧・超高压変成岩において幅広い温度圧力条件かつ変成堆積岩から変成玄武岩までの様々な岩相に普遍的に産する主要な含水変成鉱物である。フェンジャイトには、Li、B、N、Rb、Cs、Ba などの流体活動に敏感な元素が高濃度で分配される。そのため、変成脱水反応、流体-岩石相互作用、後退変成作用など、流体が関与する物質移動の定量化に適しており、K-Ar 系の年代測定や地質圧力計だけでなく、強力な地球化学的トレーサーになりうる鉱物である。

造山帯に露出した高圧変成地帯から過去の沈み込みスラブ由来流体の特徴を明らかにするために、本研究では四国中央部三波川帯（汗見川-銅山川ルート）で採取され、Itaya and Takasugi (1988) によって K-Ar 年代測定が行われたフェンジャイト計 84 試料について包括的な地球化学的解析を行なった。緑泥石帯からアルバイト-黒雲母帯までの泥質片岩 22 試料のフェンジャイト局所微量元素組成分析の結果から、フェンジャイトの微量元素組成は変成度の変化に伴った系統的な変化は見られず、原岩の特徴を強く反映することが明らかとなった（原田ほか，2023 鉱物科学会）。泥質片岩 50 試料に含まれるフェンジャイトの酸素、水素同位体組成（ $\delta^{18}\text{O}$ [‰ VSMOW]、 δD [‰ VSMOW]）はそれぞれ +11.0 to +16.2‰、-82.8 to -45.2‰ と幅広い同位体組成を示し、各鉱物帯の平均値は変成度の上昇に伴ってわずかに上昇する傾向を示す（辻森ほか，2021 地質学会）。既存のフェンジャイト-水流体間の酸素同位体分別係数を用いると、フェンジャイトと平衡であった水流体の $\delta^{18}\text{O}$ 値もみかけの変成度の上昇に伴って高くなると予想される。なお、北米西岸カタリナ島では変成度に関わらず高圧変成岩と平衡にあった水流体の同位体組成は一定であることが示されているが、それとは異なる傾向である。相平衡モデリングと同位体分別とを組み合わせた酸素同位体モデリング（PTloop: Vho et al., 2020）を用いた解釈から酸素同位体組成の傾向は変成温度を強く反映することが明らかとなった（原田ほか，2023 地質学会）。

(3) 高圧実験による成果の例

水熱ダイヤモンドアンビルセルにより模擬した高温高压環境下で、 Na_2CO_3 及び NaOH 水溶液中の石英溶解度測定とラマン分光法による流体中の珪酸塩構造測定を系統的に行った結果、アルカリ性水溶液に対する石英の溶解度は高温高压条件下でも純粋な水への溶解度よりも高く、単純な溶存化学種を考慮した熱力学モデルでは再現できないことが明らかとなった（Takahashi et al., 2021）。特に、Takahashi et al. (2021) は脱プロトン化した珪酸塩重合種や Na イオンが関与した珪酸塩重合種がその高い溶解度に寄与する可能性をラマン分光学的観点からはじめて言及した。これらの結果は、流体中の珪酸塩溶解度と溶存形態の実体だけでなく、沈み込み帯の金属元素輸送に関して定性的な理解を深めた。

また、高温高压条件下における多様な Na 塩水溶液（ Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 Na_2SO_4 、NaF 水溶液）へのルチルの溶解度を実験によって調べ、純水と比べて Na 塩水溶液に対するルチル溶解度が最大で一桁増加することが明らかとなった。この知見は沈み込み帯深部における流体を媒介した Ti の移動が流体の pH または錯体を形成する配位子の存在度により制御されることを示し、天然の高圧変成岩に観察される特異な Ti 移動濃集プロセスに対して新解釈を与える。

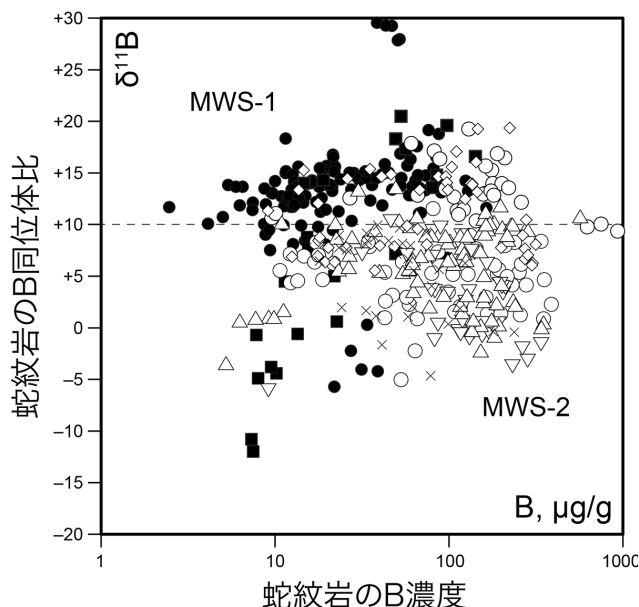


図 2. 含水マントルウェッジ蛇紋岩の B 同位体比-B 濃度の関係。北米西岸、西南日本内帯、北上山地南部などの頭生代の前弧域由来の蛇紋岩の約 420 データのまとめ。黒塗りシンボル（フランスカン-マリアナ タイプ）と白塗りシンボル（日本古生代蛇紋岩タイプ）で示された点が示す 2 つの傾向が存在し、それぞれ MWS-1、MWS-2 としてグローバルな前弧域の蛇紋岩のリファレンス値として地球化学モデリングなどに利用することができる。

(4) 前弧域蛇紋岩と変質海洋地殻のハイブリダイゼーション

含水マントルウェッジが関与する化学分化の素過程の総理解のため、海洋プレート沈み込み帯における含水マントルウェッジ蛇紋岩の動力学的な挙動（流れ）の予測と、変質海洋地殻に代表されるスラブ物質との化学的な混合の予測が欠かせない。本研究では、I2(I3)VIS コードによる動力学モデリングを行い、プレート収束域において、含水マントルウェッジの浮力が過大評価されてきたことを明らかにした。また、含水マントルウェッジの動力学的な挙動の理解において、蛇紋岩の炭酸塩岩化が重要であることを Morita et al. (2022) と同様の計算機実験で明らかにした（志関・辻森, 2024 JpGU）。また、含水マントルウェッジとスラブ物質との化学的な混合の影響を把握するための、Deschamps et al. (2013) のマントルウェッジ蛇紋岩の化学組成とスラブ物質とのハイブリダイゼーションについて、相平衡モデリングによって解析した。その解析の一部は、Hernández-Uribe and Tsujimori (2023) による沈み込む海洋地殻物質の水の保持能の評価に利用され、マントルウェッジ蛇紋岩と変質海洋地殻のハイブリダイゼーションによる沈み込む海洋地殻におけるローソン石の減少の定量的な予測に成功した。

(5) 海洋地殻のエクロジャイト化過程の解読に向けた、試料解析手法の探究

スラブ構成岩は沈み込みに伴って脱水反応を被り、マントルウェッジに対する水流体の供給源となる。本研究では、玄武岩質海洋地殻が深さ約 60 km 以深で変成することで形成するエクロジャイトに着目し、構成鉱物のサブミクロンスケール解析による反応の時間スケール・カINETIX の制約を試みた。特に、ギリシャ・シロス島産のエクロジャイトから選別したざくろ石斑状変晶に対し、そのオンファス輝石包有物を FIB-TEM/STEM を用いて解析することで、オンファス輝石に記録されたナノスケール組織（逆位相領域 APD）の解読が、変成素過程の正確な理解に必須であることを提案した。APD 形態・Mg/Fe 元素濃度比を基にざくろ石への包有時に同時成長したオンファス輝石を判別できることを示したほか（Fukushima et al., 2021 Am. Mineral.; 2022 IEC, IMA）、その詳細な記載と数値シミュレーションを併用することで、オンファス輝石の核形成プロセスが最終的な微細組織を規定することを明らかにした（Fukushima, Tsujimori, & Miyajima, 2023 JpGU, 2023 WRI）。加えて、同時成長したオンファス輝石周辺のナノ拡散モデリングを用いた検討により、エクロジャイト形成条件下での流体流入イベントのタイムスケールが推定された（Fukushima et al., 2022 JpGU）。

<引用文献（学会講演要旨は除く）>

- Fukushima, R., Tsujimori, T., Miyajima, N., 2021. Various antiphase domains in garnet-hosted omphacite in low-temperature eclogite: A FIB-TEM study on heterogeneous ordering processes. *American Mineralogist*, v. 106, p. 1596-1605.
- Hernández-Uribe, D., Tsujimori, T., 2023. Progressive lawsonite eclogitization of the oceanic crust: Implications for deep mass transfer in subduction zones. *Geology*, v. 51, no. 7, p. 678-682, <https://doi.org/10.1130/G51052.1>
- Itaya, T., Takasugi, H., 1988. Muscovite K-Ar ages of the Sanbagawa schists, Japan and argon depletion during cooling and deformation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 100, 281-290. <https://doi.org/10.1007/BF00379739>
- Martin, C., Flores, K.E., Harlow, G.E., 2016. Boron isotopic discrimination for subduction-related serpentinites. *Geology*, v. 44, no. 11, p. 899-902, <https://doi.org/10.1130/G38102.1>
- Morita, I., Tsujimori, T., Boniface, N., Flores, K., Aoki, S., Aoki, K., 2022. Neoproterozoic eclogite-to granulite-facies transition in the Ubendian Belt, Tanzania, and the timescale of continental collision. *Journal of Petrology*, v. 63, no.3, egac012, <https://doi.org/10.1093/petrology/egac012>
- Takahashi, N., Tsujimori, T., Kamada, S., Nakamura, M., 2022. In-situ Raman spectroscopic analysis of dissolved silica structures in Na₂CO₃ and NaOH solutions at high pressure and temperature. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 177, no. 3, 36, <https://doi.org/10.1007/s00410-022-01892-y>
- 辻森 樹, 2022. プレート境界岩総合解析によるオロゲン地質記録と変成プロセスの研究. *岩石鉱物科学*, v. 51, gkk.220310, <https://doi.org/10.2465/gkk.220310>
- Vho, A., Lanari, P., Rubatto, D., Hermann, J., 2020. Tracing fluid transfers in subduction zones: an integrated thermodynamic and $\delta^{18}\text{O}$ fractionation modelling approach. *Solid Earth*, v. 11, p. 307-328. <https://doi.org/10.5194/se-11-307-2020>
- Yamada, C., Tsujimori, T., Chang, Q., Kimura, J.-I., 2019a. Boron isotope variations of Franciscan serpentinites, northern California. *Lithos*, v. 334-335, p. 180-189, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.02.004>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Chen Yi, Li Qiuli, Zhang Guibin, Tsujimori Tatsuki, Palin Richard M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Editorial: Seeing convergent margin processes through metamorphism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 989889
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2022.989889	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 Iryu Yasufumi, Tsujimori Tatsuki, Hirano Naoto, Ichiyama Yuji	4. 巻 31
2. 論文標題 Editorial for the thematic issue, "Orogens, ophiolites, and oceans: A snapshot of Earth's tectonic evolution"	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12468	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 Ganbat Ariuntsetseg, Tsujimori Tatsuki, Miao Laicheng, Safonova Inna, Pastor Gal?n Daniel, Anaad Chimedtseren, Aoki Shogo, Aoki Kazumasa, Chimedsuren Munkhnasan	4. 巻 31
2. 論文標題 Age, petrogenesis, and tectonic implications of the late magmatic rocks in the <sc>Middle Gobi</sc> , <sc>Permian</sc> <sc>volcanoplutonic</sc> <sc>Belt</sc> , <sc>Mongolia</sc>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12457
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12457	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 Oh Chang Whan, Zhai Mingguo, Sajeev Krishnan, Tsujimori Tatsuki, Whattam Scott A.	4. 巻 428-429
2. 論文標題 Editorial of the special issue, "Evolution and tectonic correlations of East and South Asia: A geochemical, petrological and tectonic perspective"	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 106842
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2022.106842	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 Tsujimori Tatsuki	4. 巻 51
2. 論文標題 Orogenic and metamorphic processes in plate boundaries: Synopsis and future directions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Magazine of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/gkk.220310	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 Takeshima Yuko, Hyodo Hironobu, Tsujimori Tatsuki, Gouzu Chitaro, Itaya Tetsumaru	4. 巻 13
2. 論文標題 In Situ Argon Isotope Analyses of Chondrule-Forming Materials in the Allende Meteorite: A Preliminary Study for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating Based on Cosmogenic ^{39}Ar	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min13010031	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 Pastor-Galán Daniel, Spencer Christopher J., Furukawa Tan, Tsujimori Tatsuki	4. 巻 564
2. 論文標題 Evidence for crustal removal, tectonic erosion and flare-ups from the Japanese evolving forearc sediment provenance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 116893
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2021.116893	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 Ganbat Ariuntsetseg, Pastor Galan Daniel, Hirano Naoto, Nakamura Norihiro, Sumino Hirochika, Yamaguchi Yuji, Tsujimori Tatsuki	4. 巻 126
2. 論文標題 Cretaceous to Miocene NW Pacific Plate Kinematic Constraints: Paleomagnetism and $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{39}$ Geochronology in the Mineoka Ophiolite M?lange (Japan)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2020JB021492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JB021492	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 Boniface Nelson, Tsujimori Tatsuki	4. 巻 552
2. 論文標題 New tectonic model and division of the Ubendian-USagaran Belt, Tanzania: A review and in-situ dating of eclogites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geological Society of America Special Paper	6. 最初と最後の頁 133 ~ 175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/2021.2552(08)	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 Fukushima Ryo, Tsujimori Tatsuki, Miyajima Nobuyoshi	4. 巻 106
2. 論文標題 Various antiphase domains in garnet-hosted omphacite in low-temperature eclogite: A FIB-TEM study on heterogeneous ordering processes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1596 ~ 1605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2021-7784	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 Harada Hironobu, Tsujimori Tatsuki, Kon Yoshiaki, Aoki Shogo, Aoki Kazumasa	4. 巻 398-399
2. 論文標題 Nature and timing of anatexis event of the Hida Belt (Japan): Constraints from titanite geochemistry and U-Pb age of clinopyroxene-bearing leucogranite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 106256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2021.106256	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 Ganbat Ariuntsetseg, Tsujimori Tatsuki, Miao Laicheng, Safonova Inna, Pastor-Gal?n Daniel, Anaad Chimedtseren, Baatar Munkhtsengel, Aoki Shogo, Aoki Kazumasa, Savinskiy Ilya	4. 巻 404-405
2. 論文標題 Late Paleozoic?Early Mesozoic granitoids in the Khangay-Khentey basin, Central Mongolia: Implication for the tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean margin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 106455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2021.106455	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 Morita Isamu, Tsujimori Tatsuki, Boniface Nelson, Flores Kennet E, Aoki Shogo, Aoki Kazumasa	4. 巻 63
2. 論文標題 Neoproterozoic Eclogite-to Granulite-Facies Transition in the Ubendian Belt, Tanzania, and the Timescale of Continental Collision	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Petrology	6. 最初と最後の頁 egac012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/petrology/egac012	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 Takahashi Naoko, Tsujimori Tatsuki, Kamada Seiji, Nakamura Michihiko	4. 巻 177
2. 論文標題 In-situ Raman spectroscopic analysis of dissolved silica structures in Na ₂ CO ₃ and NaOH solutions at high pressure and temperature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Contributions to Mineralogy and Petrology	6. 最初と最後の頁 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00410-022-01892-y	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 Hernandez-Uribe David, Tsujimori Tatsuki	4. 巻 51
2. 論文標題 Progressive lawsonite eclogitization of the oceanic crust: Implications for deep mass transfer in subduction zones	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geology	6. 最初と最後の頁 678 ~ 682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/G51052.1	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 Harada Hironobu, Tsujimori Tatsuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Methane genesis within olivine-hosted fluid inclusions in dolomitic marble of the Hida Belt, Japan	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-024-00609-y	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 Sato Megumi, Hyodo Hironobu, Sugiura Kei, Tsujimori Tatsuki, Itaya Tetsumaru	4. 巻 14
2. 論文標題 Regional-Scale Paleoproterozoic Heating Event on Archean Acasta Gneisses in Slave Province, Canada: Insights from K ⁴⁰ Ar and 40Ar/39Ar Chronology	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 397 ~ 397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min14040397	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 -

〔学会発表〕 計47件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Tsujimori, T., Yamada, C., Aoki, S., Aoki, K., Chang, Q., Kimura, J.-I.
2. 発表標題 Boron isotope mapping of jadeitite-bearing serpentinite melange complex, Southwest Japan
3. 学会等名 The 23rd General Meeting of the International Mineralogical Association (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsujimori, T., Morita, I., Ganbat, A., Boniface, N.
2. 発表標題 Timescale of continental collision: Neoproterozoic eclogite-to granulite-facies transition in the Paleoproterozoic Ubendian Belt (SW Tanzania)
3. 学会等名 The 14th International Eclogite Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fukushima, R., Tsujimori, T., Miyajima, N.
2. 発表標題 Constraints from garnet-hosted omphacite: FIB-STEM analysis of compositional heterogeneity
3. 学会等名 The 23th General Meeting of the International Mineralogical Association (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Harada, H., Tsujimori, T.
2. 発表標題 Methane-rich olivine-hosted fluid inclusions in dolomitic marble in the Hida Belt, Japan
3. 学会等名 The 23rd General Meeting of the International Mineralogical Association (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Harada, H., Tsujimori, T.
2. 発表標題 Tectonic affinity of the Permo-Triassic Hida Belt in Japan: Implication for the East Asian continental growth
3. 学会等名 The 14th International Eclogite Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahashi, N., Tsujimori, T., Kamada, S., Nakamura, M.
2. 発表標題 Effect of sodium salt on rutile solubility in aqueous fluids: Insights into titanium transport in subduction zones
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fukushima, R., Tsujimori, T., Miyajima, N.
2. 発表標題 Toward an understanding of fluid-induced growth of oscillatory-zoned garnets in Group-C eclogites: Temporal constraints from nanoscale cation-diffusion modeling
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 志関 弘平、辻森 樹
2. 発表標題 沈み込みチャネル成長に関するシンプルな2D動力学モデリング
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子 舜、辻森 樹、新谷 直己
2. 発表標題 完全に再結晶した変斑れい岩からのクリスタルマッシュの復元：大江山超苦鉄質岩体、普甲峠の例
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小橋 知佳、辻森 樹、内野 隆之、原田 浩伸、青木 一勝
2. 発表標題 北上山地根田茂帯の前期石炭紀及び前期三畳紀の付加コンプレックスに産するアンチゴライト蛇紋岩の起源
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田 浩伸、辻森 樹
2. 発表標題 Ubiquitous methane-rich fluid inclusions in olivine-bearing dolomitic marble: Significance of “crustal serpentinization”
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻森 樹
2. 発表標題 変成作用に関する境界、そのスケール問題
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻森 樹, パストルガラン ダニエル, ガンバット アリアンセッセグ
2. 発表標題 オルドビス紀以降の東北日本の地殻進化：U-Pb年代 - Hf同位体組成同時分析を駆使したジルコン学による新知見
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsuji mori, T.
2. 発表標題 Plate convergence and gems
3. 学会等名 The 38th Annual Technical Sessions and Annual General Meeting of the Geological Society of Sri Lanka（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻森 樹, 古俣利明, 岡 紘希, 常 青, 青木 翔吾, 青木 一勝
2. 発表標題 ひすい輝石岩の時間スケール問題：どれくらい前弧含水マントルウェッジに滞留できるか？
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡 紘希、辻森 樹
2. 発表標題 青海地域に産する含苦土アルペゾン閃石アルピタイト中の亜鉛を含む鉱物の多様性とその地質学的意義
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田 浩伸、辻森 樹、高柳 栄子、井龍 康文
2. 発表標題 飛騨帯産含かんらん石ドロマイト質大理石の安定同位体地球化学
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 樋口 莉央、辻森 樹、ポニフェイス ネルソン
2. 発表標題 タンザニア古原生代ウサガラン帯の変成履歴を読み解く：含コランダム高压角閃岩の岩石学
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田 浩伸、辻森 樹、高柳 栄子、井龍 康文
2. 発表標題 四国三波川帯五良津東部岩体産エクロジャイト相大理石の炭素・酸素同位体組成再訪
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsujimori, T.
2. 発表標題 Boron isotope and trace-elements mapping of serpentinite from the Osayama Serpentinite Melange, SW Japan
3. 学会等名 2022 Joint Fall Meeting of Korean Geological Societies and the 77th General Assembly of the Geological Society of Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻森 樹, 原田 浩伸, 板谷 徹丸, パストルガラン ダニエル, アルバレスバレロ アントニオ
2. 発表標題 四国中央部三波川帯の南北横断線に沿ったフェンジャイトの酸素・水素同位体比バリエーション
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻森 樹, 山田 千夏, 青木 翔吾, 青木 一勝, 常 青, 木村 純一
2. 発表標題 Boron isotope mapping of serpentinites in the Osayama Serpentinite Melange, SW Japan
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsujimori, T.,
2. 発表標題 Plate convergence and gems
3. 学会等名 The 38th Annual Technical Sessions and Annual General Meeting of the Geological Society of Sri Lanka (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ganbat, A., Tsujimori, T., Boniface, N., Pastor-Galan, D., Aoki, S., Aoki, K.
2. 発表標題 Paleoproterozoic magmatic flare-up of the Ubendian Belt, SW Tanzania: A crustal growth history events before the amalgamation of the Central African Shield
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rio, Tsujimori, T.
2. 発表標題 Occurrence of CH ₄ -N ₂ -bearing aqueous fluid inclusions in jadeite-bearing chlorite-grossular rock from the New Idria serpentinite body, California
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原田 浩伸, 辻森 樹, 昆 慶明, 青木 翔吾, 青木 一勝
2. 発表標題 飛騨帯産含単斜輝石優白質花崗岩の成因と形成年代：チタン石の化学組成とU-Pb年代による束縛
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahashi, N., Tsujimori, T., Kamada, S., Nakamura, M.
2. 発表標題 HDAC experiments on silica solubility and speciation in Na ₂ CO ₃ -H ₂ O fluids at high pressure and temperature
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻森 樹、小橋 知佳、山田 千夏、常 青
2. 発表標題 前弧域蛇紋岩のB同位体比傾向：グローバルリファレンス値提案のための取り組み
3. 学会等名 日本地質学会第130年学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田 浩伸、辻森 樹
2. 発表標題 飛驒帯の変成炭酸塩岩
3. 学会等名 日本地質学会第130年学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 志閑 弘平、辻森 樹
2. 発表標題 高压変成岩上昇機構：2次元動力学モデリングで青海エクロジャイトの変成履歴は再現できるか？
3. 学会等名 日本地質学会第130年学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田 浩伸、辻森 樹、ファインマン モーリン、パストルガラン ダニエル、アルバレスパレロ アントニオ、青木 一勝、板谷 徹丸
2. 発表標題 四国中央部三波川帯南北トラバース試料に記録されたスラブ流体：フェンジャイトの酸素・水素同位体地球化学の可能性
3. 学会等名 日本地質学会第130年学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田 浩伸、辻森 樹、ファインマン モーリン、青木 一勝、板谷 徹丸
2. 発表標題 四国中央部三波川帯の泥質片岩に産するフェンジャイトの微量元素・ストロンチウム同位体地球化学
3. 学会等名 日本鉱物科学会2023年年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田 浩伸、辻森 樹
2. 発表標題 北上山地宮古地域の接触変成大理石に産する変成かんらん石中の含メタン流体包有物
3. 学会等名 日本鉱物科学会2023年年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武田 菜実、辻森 樹、川本 竜彦、板谷 徹丸
2. 発表標題 ドラマイラ岩体南部、超高压白色片岩中の藍晶石が包有するコース石の形態と残留応力について
3. 学会等名 日本鉱物科学会2023年年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福島 諒、辻森 樹、宮島 延吉、Boffa-Ballaran Tiziana、Criniti Giacomo、McCammon Catherine
2. 発表標題 コロラド台地産ローソン石エクロジャイト捕獲岩を構成するオンファス輝石の電子線散漫散乱：予察的報告
3. 学会等名 日本鉱物科学会2023年年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yongsheng Huang、Satoshi Okumura、Kazuhisa Matsumoto、Naoko Takahashi、Hong Tang、Tatsumi Tsujimori、Michihiko Nakamura、Yuan Li
2. 発表標題 Important role of mantle serpentinite carbonation of bending faults in the deep carbon cycle
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩城 朱音、辻森 樹、常 青、廣井 美邦
2. 発表標題 Lithium behavior in middle crustal rocks: In-situ isotope geochemistry of staurolite in the Unazuki Schist, Japan
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武田 菜実、辻森 樹、板谷 徹丸
2. 発表標題 コース石のラマンシフト：超高压变成岩の包有物鉱物学再訪「ドラマイラ白色片岩の例」
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田 浩伸、辻森 樹
2. 発表標題 Abiotic methane synthesis within olivine-hosted fluid inclusions in dolomitic marble
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 辻森 樹、小山内 康人
2. 発表標題 蛇紋岩中のNa-AIに富む交代岩の複数鉱物ウラン・鉛年代測定
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福島 諒、辻森 樹
2. 発表標題 新たな地質速度計をもとめて：フェーズフィールド法を用いたオンファス輝石の逆位相領域成長モデリング
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 志閑 弘平、辻森 樹
2. 発表標題 沈み込みチャネル成長と高圧変成岩体上昇に関する2D動力学モデリング
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田 浩伸、辻森 樹
2. 発表標題 Tectonic affinity of the Permo-Triassic Hida Belt in Japan: Review of recent progress in the geochronological research
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 岩城 朱音、辻森 樹、常 青、青木 一勝、廣井 美邦、板谷 徹丸
2 . 発表標題 On staurolite as a geochemical tracer: A preliminary report from middle-pressure metapelites
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Codi Lazar、Tatsuki Tsujimori、Qing Chang、Emily H. G. Cooperdock
2 . 発表標題 In situ boron isotope and chemical analyses of the New Idria Serpentinite: evidence for a mantle wedge origin
3 . 学会等名 AGU Fall Meeting 2023
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Daniel Pastor-Galan、Christopher Spencer、Tatsuki Tsujimori、Tan Furukawa
2 . 発表標題 Vanished from the Face of the Earth: Unraveling Japan's Enigmatic Lost Continent and the Lessons on Dealing with Missing Continents in Paleogeography
3 . 学会等名 AGU Fall Meeting 2023
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Tatsuki Tsujimori、Tomoka Kobashi、Qing Chang、Takayuki Uchino
2 . 発表標題 Boron Isotope Characteristics of Serpentinite Lenses within Carboniferous and Triassic Accretionary Complexes in the Kitakami Mountains, NE Japan
3 . 学会等名 AGU Fall Meeting 2023
4 . 発表年 2023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	青木 翔吾 (Aoki Shogo) (60801967)	秋田大学・国際資源学研究科・助教 (11401)	
研究 分担者	大藤 弘明 (Ohfuj i Hiroaki) (80403864)	東北大学・理学研究科・教授 (11301)	

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
---------	---------