

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🏛️ Oral Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

◆ Invited Lecture

2:00 PM - 2:25 PM JST | 5:00 AM - 5:25 AM UTC

[S3-01]

Crystallographic preferred orientation of δ -AlOOH at high pressure and temperature: implications for seismic anisotropy in the deep mantle

*Wentian Wu¹, Yu Nishihara¹, Noriyoshi Tsujino² (1. GRC, Ehime Univ., 2. JASRI)

2:25 PM - 2:40 PM JST | 5:25 AM - 5:40 AM UTC

[S3-02]

Investigation of microstructure and crystallographic preferred orientation analysis using XRD and EBSD of experimental samples deformed at high pressure using rDAC

*Bunrin Natsui¹, Shintaro Azuma¹, Masahiro Yasutake², Yukinojo Koyama³, Keishi Okazaki^{4,5}, Kentaro Uesugi², Saori Kawaguchi², Ryuichi Nomura⁶, Kenji Ohta¹ (1. Science Tokyo, 2. JASRI, 3. U Tokyo, 4. Hiroshima Univ., 5. JAMSTEC, 6. Kyoto Univ.)

2:40 PM - 2:55 PM JST | 5:40 AM - 5:55 AM UTC

[S3-03]

Post-perovskite phase transition and changes in lattice-preferred orientation

*Tomoaki KUBO¹, Katsuki Hayahi¹, Koyumi Yamashita¹, Atsuro Okamoto¹, Rikuto Honda¹, Goto Yuta¹, Tsujino Noriyoshi², Higo Yuji², Yuki Shibazaki³, Nobuyoshi Miyajima⁴ (1. Kyushu Univ., 2. JASRI, 3. KEK PF, 4. BGI)

◆ Student Presentation Award Entry

2:55 PM - 3:10 PM JST | 5:55 AM - 6:10 AM UTC

[S3-04]

Deformation experiments of synthetic mineral polycrystals to reproduce phase-mixed microstructures in deformed rocks

*KANATA TAKADA¹, TAKEHIKO HIRAGA¹ (1. Tokyo Univ. EPS/ERI.)

3:10 PM - 3:25 PM JST | 6:10 AM - 6:25 AM UTC

[S3-05]

Deformation-induced phase transition of enstatite

*Miki TAsAKA¹, Maya Iwago¹ (1. Shizuoka University)

◆ Student Presentation Award Entry

3:25 PM - 3:40 PM JST | 6:25 AM - 6:40 AM UTC

[S3-06]

Grain Growth and Creep in Bicontinuous Two-Phase Polycrystals: The Role of Atomic Diffusion at Heterophase Interface

*Shenghao Jiang¹, Takehiko Hiraga¹ (1. The University of Tokyo)

3:40 PM - 4:00 PM JST | 6:40 AM - 7:00 AM UTC

[2Oral301-13-7add]

休憩

◆ Invited Lecture

4:00 PM - 4:25 PM JST | 7:00 AM - 7:25 AM UTC

[S3-07]

Seeing fault failure in real time: s4D μ CT of gypsum dehydration

Nick Harpers¹, Florian Füsseis¹, *Eranga Gayanath Jayawickrama¹ (1. RWTH Aachen Univ.)

4:25 PM - 4:40 PM JST | 7:25 AM - 7:40 AM UTC

[S3-08]

The post-antigorite reaction experiments in a peridotite matrix and dehydration embrittlement

*Musashi Ezaki¹, Tomoaki Kubo¹, Rikuto Honda¹, Yuta Goto¹, Noriyoshi Tsujino², Yuji Higo² (1. Kyushu Univ. Sci., 2. JASRI)

◆ Student Presentation Award Entry

4:40 PM - 4:55 PM JST | 7:40 AM - 7:55 AM UTC

[S3-09]

Vertical Variation in Modal Mineralogy and Deformation Style from XCT Image Analysis of Oman Drilling Core Samples

*Takeo Okuwaki¹, Katsuyoshi Michibayashi^{1,2} (1. Nagoya University, 2. Volcanoes and Earth's Interior Research Center, IMG, JAMSTEC)

◆ Student Presentation Award Entry

4:55 PM - 5:10 PM JST | 7:55 AM - 8:10 AM UTC

[S3-10]

Signatures of mantle melts/fluids within olivine xenocrysts from Oshima-Ōshima picritic basalts

*Ryo Tsukawaki¹, Terumi Ejima², Atusi Ninomiya³, Yuto Sato⁴, Hirochika Sumino⁵, Shoji Arai⁶ (1. Shinshu Univ. Sci., 2. Shinshu Univ. Sci., 3. Sumiko Res. Exp. & Dev. Co., 4. JAMSTEC Kochi, 5. RCAST, Univ. of Tokyo, 6. Kanazawa Univ.)

◆ Student Presentation Award Entry

5:10 PM - 5:25 PM JST | 8:10 AM - 8:25 AM UTC

[S3-11]

Seawater penetration velocity along the outer-rise fault estimated from the permeability of peridotite

*Yuichiro Naruse¹, Ikuo Katayama¹ (1. Hiroshima Univ.)

◆ Student Presentation Award Entry

5:25 PM - 5:40 PM JST | 8:25 AM - 8:40 AM UTC

[S3-12]

Study of geological structures and rock textures associated with strain relief along plate boundary faults

*Haruki Yoshiasa¹, Jun-ichi Ando^{1,3}, Kaushik Das^{1,3}, Dyuti Prakash Sarkar^{2,3} (1. Hiroshima Univ., 2. Yamaguchi Univ., 3. HiPeR)

5:40 PM - 5:55 PM JST | 8:40 AM - 8:55 AM UTC

[S3-13]

Seismic discontinuity in the Martian crust possibly caused by the presence of aquifer

*Ikuo KATAYAMA¹, Yuya Akamatsu² (1. Hiroshima University, 2. JAMSTEC)

5:55 PM - 6:00 PM JST | 8:55 AM - 9:00 AM UTC

調整

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

◆ Invited Lecture

2:00 PM - 2:25 PM JST | 5:00 AM - 5:25 AM UTC

[S3-01] Crystallographic preferred orientation of δ -AlOOH at high pressure and temperature: implications for seismic anisotropy in the deep mantle

*Wentian Wu¹, Yu Nishihara¹, Noriyoshi Tsujino² (1. GRC, Ehime Univ., 2. JASRI)

Keywords : δ -AlOOH、crystallographic preferred orientation、seismic anisotropy、deformation microstructure

Shear-wave anisotropy has been widely observed in the lower mantle transition zone and the uppermost lower mantle, particularly near several subducting slabs (Ferreira et al., 2019; Nowacki et al., 2015). These seismic features are commonly attributed to the crystallographic preferred orientation (CPO) of constituent minerals. Understanding the rheological behavior of hydrous phases under relevant mantle pressure-temperature conditions is thus critical for elucidating the origin of such anisotropy and the mechanical behavior of hydrated subducting slabs.

Delta-AlOOH, a high-pressure polymorph of diasporite with orthorhombic symmetry (Suzuki et al., 2000), exhibits over 27% shear-wave anisotropy in its single crystal under mid-mantle conditions (Tsuchiya et al., 2009). Delta-AlOOH forms a solid solution with phase H—referred to as phase delta-H [$\text{AlOOH-MgSiO}_2(\text{OH})_2$ —that remains stable from approximately 18 GPa to lowermost mantle depths. Phase delta-H can coexist with bridgmanite or post-perovskite in hydrous lithologies (Ohira et al., 2014; Duan et al., 2018), making it a significant carrier of water into the deep mantle. The rheological behavior of Delta-AlOOH and phase Delta-H is therefore likely to influence the deformation and dynamics of deep subduction zones.

We conducted deformation experiments on pre-synthesized Delta-AlOOH and phase Delta-H [$\text{Delta-(Al,Mg,Si)OOH}$] aggregates at pressures of 21-25 GPa and temperatures of 700-1000 degrees C, using strain rates of 1.6×10^{-4} to $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ —conditions representative of the lower mantle transition zone. Microstructural and CPO analyses of the recovered samples revealed that both Delta-AlOOH and phase Delta-H deformed by dislocation creep and developed a pronounced (010) fabric perpendicular to the compression direction, with [001] identified as the dominant slip direction.

The deformation fabrics observed in Delta-AlOOH and phase Delta-H may account for the ubiquitous shear-wave anisotropy ($V_{SV} > V_{SH}$, where V_{SV} and V_{SH} are vertically and horizontally polarized shear waves, respectively) detected near the tops of stagnant slabs in the lower mantle transition zone or uppermost lower mantle.

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

🎵 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🎵 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

2:25 PM - 2:40 PM JST | 5:25 AM - 5:40 AM UTC

[S3-02] Investigation of microstructure and crystallographic preferred orientation analysis using XRD and EBSD of experimental samples deformed at high pressure using rDAC

*Bunrin Natsui¹, Shintaro Azuma¹, Masahiro Yasutake², Yukinojo Koyama³, Keishi Okazaki^{4,5}, Kentaro Uesugi², Saori Kawaguchi², Ryuichi Nomura⁶, Kenji Ohta¹ (1. Science Tokyo, 2. JASRI, 3. U Tokyo, 4. Hiroshima Univ., 5. JAMSTEC, 6. Kyoto Univ.)

Keywords : EBSD, Ferropericlasite, Deformation Experiment, X-ray diffraction, Crystallographic preferred orientation

回転式ダイヤモンドアンビルセル(rDAC)は、地球内部の全圧力条件下での変形実験が可能な装置であり、近年、鉱物の高温高压変形実験の結果が報告されている。rDACを用いた変形実験は、SPRING-8の放射光X線と組み合わせるのが一般的である。これまでrDACにおける試料の結晶方位選択配向(CPO)の決定には、X線回折測定(XRD)を用いてきた。一方で、変形実験中のXRDによるCPO測定にはいくつかの制約がある。例えば、rDACの実験構成では、XRDデータは一方向からしか取得できず、変形実験中の試料は回転軸に対して60度傾いている。その結果、60度の傾きに対応する限られた範囲のポールフィギュアしか得られない。この限られた範囲のデータを基に全体のポールフィギュア(180°範囲)が再構成されるが、再構成されたデータの完全性は十分に検証されていない。また、X線測定では、多結晶試料の粒径や粒子形状などの個別の結晶の詳細な評価が困難である。本研究では、rDACを用いた高压変形実験試料の減圧回収後のXRDおよび電子後方散乱回折(EBSD)測定を実施し、WüstiteおよびFerropericlasite試料の微細構造観察およびCPOの決定および比較を行った。変形実験はSPRING-8 BL47XUにて、その場XRD測定を行いながら、圧力10-126 GPa、温度300-950 K、歪速度一定の条件でWüstite、Ferropericlasiteに対して行った。CPO決定のための組織解析にはMaterial Analysis Using Diffraction (MAUD)による結晶方位分布関数(ODF)が組み込まれたRietveld解析を適用した。また、変形実験後の試料を減圧回収し、SPRING-8 BL10XUにて多角度(-35°~35°)XRD測定を行い、同じくCPO決定を試みた。加えて、一部の減圧回収試料について集束イオンビーム(FIB)装置を用いて、EBSD測定箇所をピックアップしたのちに、SEM-EBSD(JSM-7000F, 日本電子)もしくはSEM-FIB-EBSD(Helios 5 UX, Thermo Fisher)を用いてEBSD測定を行った。XRD測定結果の解析から得られたCPOは、変形直後の試料(BL47XUデータ)と減圧回収試料(BL10XUデータ)の両方で一致し、減圧時の変形がCPOに与える影響は少ないことが確認された。EBSD測定結果から得られたCPOはXRDの結果と調和的であった。また、EBSDマッピングから、同じ結晶内で結晶方位が連続的に変化する様子が観察され、変形実験時に試料は転位クリープにより変形したことが示唆された。変形実験中の1角度XRD測定・減圧回収後の多角度XRD測定・EBSD測定で得られたCPOの結果は調和的であり、各測定方法には目的に応じた適切な利用方法が考えられる。リアルタイムでの測定や実験中の応力-歪曲線を取得したい場合には、変形実験中の1角度

XRD測定が適している。試料の複数箇所での測定や、ガasket材のピークを回避したい場合には、減圧回収試料の多角度XRD測定が有効である。多結晶試料の各粒子の結晶方位や粒子形状といった微細構造を解析したい場合には、EBSD測定を用いることで情報を取得できる。また、放射光施設を利用できない場合においても、EBSD測定は有効な手法である。目的や状況に応じて、適切な測定方法を選択・組み合わせることが重要であり、手法の特徴を理解し、研究対象や解析目的に最適な方法を選ぶことで、より高精度なデータを取得することが可能である。

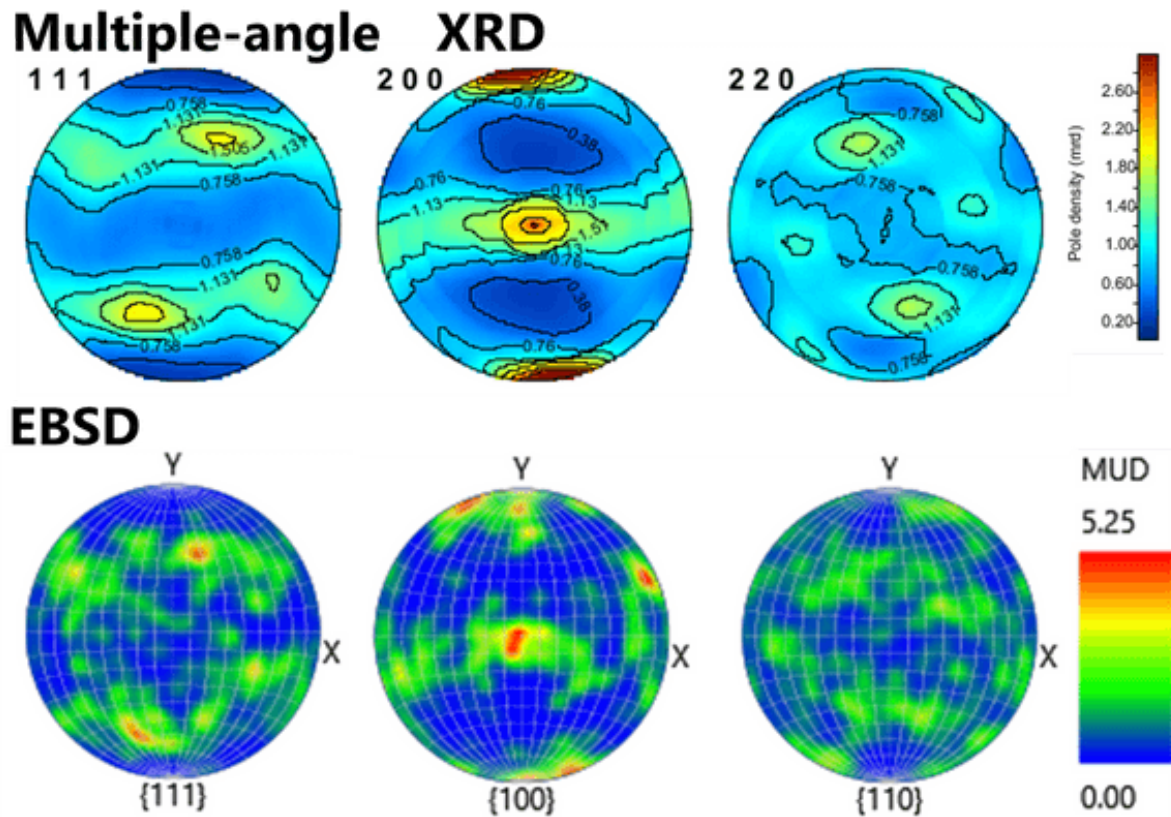


図 Ferropicriclaseの変形実験後減圧回収試料の多角度XRD測定とEBSD測定から得られたポールフィギュア

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

🎵 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🎵 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

2:40 PM - 2:55 PM JST | 5:40 AM - 5:55 AM UTC

[S3-03] Post-perovskite phase transition and changes in lattice-preferred orientation

*Tomoaki KUBO¹, Katsuki Hayahi¹, Koyumi Yamashita¹, Atsuro Okamoto¹, Rikuto Honda¹, Goto Yuta¹, Tsujino Noriyoshi², Higo Yuji², Yuki Shibazaki³, Nobuyoshi Miyajima⁴ (1. Kyushu Univ., 2. JASRI, 3. KEK PF, 4. BGI)

Keywords : Post-perovskite phase transition、LPO、synchrotron radiation、nucleation and growth

下部マントル最下部のD''層で観測される強い地震波異方性は、マントル流により誘起されるブリッジマナイト（ペロブスカイト相、pv）およびポストペロブスカイト相（ppv）の格子選択配向（LPO）に起因すると考えられている。これまでの研究では、高過剰圧下において、pvとppvの間にマルテンサイトの粒内ラメラをともなうトポタキシーが観察され、相転移の際にLPOが継承される可能性が提案されている[1]。しかし、D''層領域では相転移は平衡境界付近で起こると考えられ、その詳細なメカニズムは依然として不明である。本研究では、アナログ物質であるNaNiF₃を用いて、(1) 静水圧下でのpv-ppv転移、(2) 一軸応力下でのpv-ppv転移、(3) ppv相の塑性変形、の3種類の実験を行い、高温低過剰圧条件におけるpv-ppv転移メカニズムと、そのLPO進化への影響を検討した。

出発試料は粒径5–10μmの等粒状多結晶NaNiF₃（pv）であり、NiF₂とNaFの粉末混合物から、九州大学のDIA型高圧装置（MAX-90D）を用いて2 GPa, 750–800°C, 40–60分の条件で合成した。相転移および変形実験は、Kawai型およびD-111型高圧装置を用いて、九州大学での急冷法（QDES）と、SPring-8（SPEED 1500およびSPEED Mk.II）およびPF-AR（MAX-III）の放射光ビームラインにおけるその場X線観察法を併用して行った。その場X線観察は、白色X線を用いたエネルギー分散法と、60 keV単色X線を用いた角度分散法の両方で行い、相転移カインティクスと応力-歪み曲線をモニタした。回収試料の組織解析には、SEM、EBSD、TEMを用いた。

実験は、圧力10–22 GPa、温度400–1240°Cの条件下で行った。pv-ppv転移に必要な過剰圧は温度の低下とともに増加する。先行研究では、高過剰圧条件下でのマルテンサイトの転移が報告されているが、本研究では、より低い過剰圧条件下でも転移が進行し、そこでは粒界核生成と成長が支配的であることが示された。特に、静水圧かつ高温・低過剰圧条件下では、新相ppv粒子はa軸方向に優先成長し、母相pv粒子よりも巨大な棒状結晶が形成された。

一軸変形実験では、歪み速度約 $3\text{--}6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ で、最大約40%の歪みを試料に加えた。母相pv

は、室温圧縮中に最大主応力 (σ_1) に垂直な(100)配向を発達させ、これは MgSiO_3 pvの変形実験で確認された(100)[001]すべり系と一致する[2]。この(100)配向pvが高温・低過剰圧条件下で相転移すると、生成されたppv相は σ_1 に垂直な(010)配向を示した。これは先行研究で報告されたトポタキシーと調和的な関係であり、低過剰圧条件下での核生成・成長を通じた相転移においても、LPOが継承されることを示唆している。しかし、相転移段階で形成されたppvの(010)配向は、その後ppv相に変形を加えると弱められる。一方で、初期にランダム配向を持つppv相を変形させると(001)配向が発達し、ppvにおける主要なすべり面が(001)であることが示唆された。

D''層のような比較的高温の変形場では、相転移が相境界に近い条件で核生成・成長プロセスで進行し、その過程において、変形誘起のpv選択配向、トポタキシーによる選択配向の継承、変形誘起のppv選択配向、といったLPO進化が予想される。以上の結果をもとに、D''層領域で観測される地震波異方性を説明するマントル流とLPOの関係について議論する。

[1] Nature Geoscience Vol.6 p575-578 (2013)

[2] Nature Vol.539 p81-85 (2016)

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

◆ Student Presentation Award Entry

2:55 PM - 3:10 PM JST | 5:55 AM - 6:10 AM UTC

[S3-04] Deformation experiments of synthetic mineral polycrystals to reproduce phase-mixed microstructures in deformed rocks

*KANATA TAKADA¹, TAKEHIKO HIRAGA¹ (1. Tokyo Univ. EPS/ERI.)

Keywords : Phase mixing、Plate boundary、Forsterite、Diopside

プレートテクトニクスが地球でのみ起こる原因の解明には大極的には硬いリソスフェアがプレート境界で局所的に柔らかくなっていることが重要な鍵であると考えられる。細粒粒子が混合することにより柔らかい構造が形成することから、異相の混合プロセスを理解するための実験を行なった。

本実験では上部マントルを模した物質として、フォルステライト95vol%とダイオプサイド5vol%の試料とダイオプサイド95vol%とフォルステライト5vol%の試料の2つの多結晶試料を用いた。これらで拡散クリープ下のPure Shear実験を行い、実験後の試料の境界面付近を電子顕微鏡で観察したところ、境界付近でのマーカの運動からフォルステライトとダイオプサイドがお互いの粒子間に入っていく様子が見られ、これは混合の始まりと考えられる。

このプロセスの原因を粒子スイッチングによるものだと考え、これらを既存の研究と比較し、議論を踏まえて評価をする。

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

🎵 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🎵 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

3:10 PM - 3:25 PM JST | 6:10 AM - 6:25 AM UTC

[S3-05] Deformation-induced phase transition of enstatite

*Miki TASAKA¹, Maya Iwago¹ (1. Shizuoka University)

Keywords : enstatite、deformation、phase transition

Mg輝石のエンスタタイトは高温で安定なプロトエンスタタイト (PEn、 $T = 985\text{--}1557^\circ\text{C}$) から低温で安定なクライノエンスタタイト (CEn $T < 500^\circ\text{C}$) に相転移する際に体積が-6%減少し、相転移に伴う体積変化に起因して局所的に変形と破壊が進行する。この特性は試料にダメージを加えた時に結晶スケールの微細構造変化を調べるアナログ物質に応用できると考えた。先行研究よりPEnからCEnへの相転移に粒径や応力依存があることが分かっている(Ohi et al., 2022 Can. Min.; Tasaka and Iwago, 2024 PCM)。

本研究はビッカース変形試験機を用い、ピラミット形状の圧子を鏡面研磨した試料に押し付け、荷重一定で15秒保持したのち圧子を抜く変形実験を行った。局所領域($7.6\sim 2660\text{mm}^2$)に荷重0.1~20 Nを加え試料に高応力($\sim 10\text{GPa}$)を加えた。出発試料は焼結温度と時間を変えることでPEn100%とPEnとCEnの割合が91:9%の試料を準備した。変形実験の結果、特に圧痕付近ではCEnの割合が顕著に増加した。圧痕をつけた直後は、荷重0.1~10Nの範囲では荷重が大きくなるほどCEnの割合が増加したのに対し、20NではCEnの割合は変化しなかった。また、圧痕を付けた直後よりも時間が経過するとCEnの割合がさらに増加する傾向が見られた。初期CEnの多い試料では、圧痕をつけて6カ月が経過した時点で初期CEn割合の2倍に増加していた。このことから、変形誘起相転移は荷重に依存し、PEnからCEnへの相転移は未変形試料のCEnの割合(初期試料の粒径)に影響を受けることが明らかになった。

本研究の実験結果は、局所的な変形が鉱物の相転移を促進させることを示している。ビッカース変形試験機による変形は低温塑性変形(パイエルス機構)の変形機構で起きる。本研究で調べた輝石の相転移はマントル遷移層(深さ520km)のウォズリアイトからリングウッドイトへの相転移と比較して、相転移の体積変化率が似ている、低温塑性変形で低温・高応力下で強く変形するという共有点があり、今後エンスタタイト以外のケイ酸塩鉱物への応用も期待される。

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

◆ Student Presentation Award Entry

3:25 PM - 3:40 PM JST | 6:25 AM - 6:40 AM UTC

[S3-06] Grain Growth and Creep in Bicontinuous Two-Phase Polycrystals: The Role of Atomic Diffusion at Heterophase Interface

*Shenghao Jiang¹, Takehiko Hiraga¹ (1. The University of Tokyo)

Keywords : Olivine、Periclase、Forsterite、Heterophase Interface、Diffusion

拡散クリープは、地球内部の流動を支配する主要な変形機構の一つである。粒径に強く依存するため、粒成長と合わせて考える必要がある。粒成長は、系全体の自由エネルギーを低下させる自発的な現象であり、単相系の場合、隣接する粒子は同じ組成で構成されているため、粒界移動のみで成長が進行できる。この際、原子は界面を横断して短距離で移動するだけでよく、非常に効率的である。一方で、他相が存在する場合には、粒界（同相界面）に加えて異相界面が形成される。異相界面においては、界面を横断する短距離拡散は不可能となり、粒成長には界面に沿った長距離拡散が必須となる。クリープは粒成長と異なり、外部からの差応力場が作用するため、単相系、多相系を問わず、長距離拡散が不可欠である。地球内部物質は複数の鉱物から構成されていて、結果として複数の粒界および異相界面を含んでいる。一次近似として、本研究では二相系を対象とする。二相系においては、両相の体積分率に応じて相の分布パターンが変化する。マイナー相の体積分率が36%未満の場合、マイナー相は孤立して分布し、異相界面も孤立的となる。この場合、界面拡散のみを考慮すると、主相の粒界が唯一の拡散経路となる。この場合の粒成長とクリープはよく研究されている。一方、マイナー相の体積分率が36%以上になると、両相とも完全に連続した構造を形成し、この構造を**共連続構造**と呼ぶ。共連続構造において、異相界面が連続な面として存在するため、重要な拡散経路として機能する。このような場合において、異相界面が粒成長およびクリープに対してどのような役割を果たすのかについては、これまで十分に研究されていない。

異相界面が共連続構造において果たす役割を明らかにするために、本研究ではフォルステライトとペリクレーズ（体積分率50%）とした試料を用いて、粒成長およびクリープ実験を行った。実験結果より、共連続構造を有するFo-Per系では、第二相が孤立した系に比べて顕著に速い粒成長速度が確認された。このことは、異相界面での拡散が粒成長全体を支配し、Fo-Per界面が大きい拡散係数を持つことを示している。これに対して、共連続構造をもつFo-Per系のクリープ挙動は、より硬いフォルステライトに富む系（ペリクレーズ粒子が孤立した構造）と類似した特徴を示し、粒界拡散の寄与が不可欠であること、さらに系全体の変形速度が最も遅い経路での拡散速度によって支配されることを示している。

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🏛️ Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

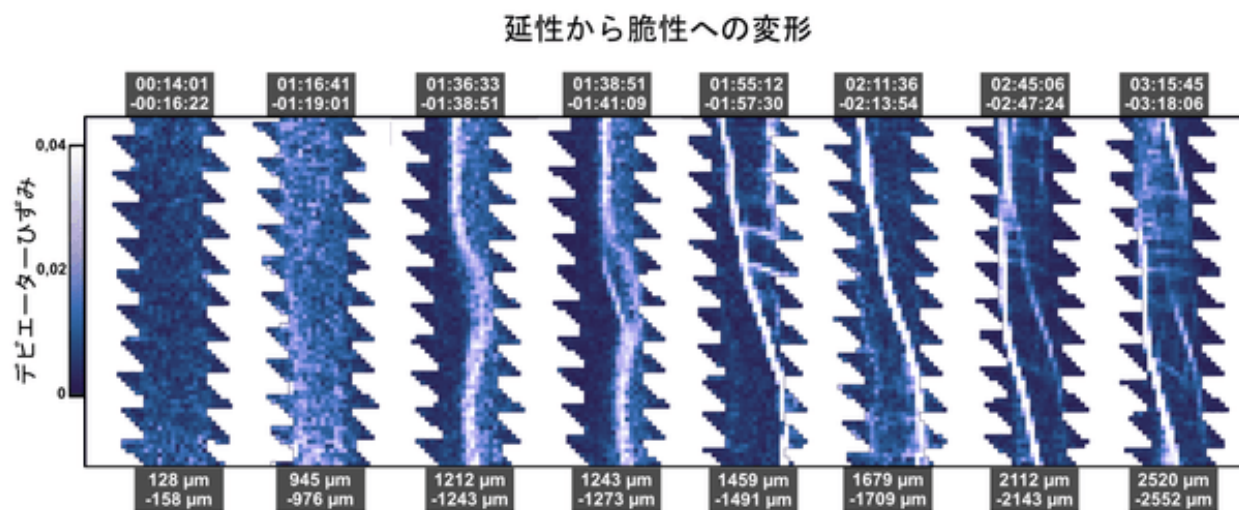
◆ Invited Lecture

4:00 PM - 4:25 PM JST | 7:00 AM - 7:25 AM UTC

[S3-07] Seeing fault failure in real time: s4D μ CT of gypsum dehydration

Nick Harpers¹, Florian Füsseis¹, *Eranga Gayanath Jayawickrama¹ (1. RWTH Aachen Univ.)
Keywords : s4D μ CT、Dehydration、Shear

Synchrotron-based 4D microtomography (s4D μ CT), the time-resolved extension of three-dimensional X-ray computed microtomography, offers a non-invasive way to visualize and quantify internal microstructural changes during dynamic processes. Utilizing the progression in synchrotron radiation, fast detectors, and digital volume correlation (DVC), this technique enables high-resolution imaging and quantification of evolving systems under controlled mechanical, thermal, and chemical conditions. In this study, we apply s4D μ CT to investigate the syn-deformational dehydration of gypsum in a direct-shear experiment. This experiment can be considered an analogue for serpentine dehydration in subduction zones. The process involves complex hydraulic, mechanical, and chemical (HMC) interactions that remain poorly understood, especially under shear stress. We conducted a series of operando direct shear experiments on high-purity gypsum powders using the x-ray transparent Heitt Mjölur rig at the ID19 beamline of the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF). These experiments captured the real-time evolution of microstructures during dehydration, under conditions of 10 MPa confining pressure, 2 MPa fluid pressure, and heating from 60 °C to 125 °C, with concurrent shear strain applied at a constant displacement rate. s4D μ CT imaging allowed us to discriminate between gypsum, hemihydrate, and pore space with high fidelity, providing insights into the spatial and temporal evolution of deformation structures such as Riedel shears, compaction bands, and boundary shears. Our analyses use DVC to resolve grain-scale deformation and reaction rate during coupled deformation and dehydration in the s4D μ CT data. The initial results demonstrate a clear link between microstructural changes and variations in frictional and transport properties. These findings underscore the power of s4D μ CT in capturing the feedback between chemical reactions and hydro-mechanical behavior during shear, with broader implications for understanding fault zone processes. Future work will extend to other lithologies and focus on quantifying rate-and-state friction to better characterize sliding stability in deforming systems.



📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

4:25 PM - 4:40 PM JST | 7:25 AM - 7:40 AM UTC

[S3-08] The post-antigorite reaction experiments in a peridotite matrix and dehydration embrittlement

*Musashi Ezaki¹, Tomoaki Kubo¹, Rikuto Honda¹, Yuta Goto¹, Noriyoshi Tsujino², Yuji Higo²
(1. Kyushu Univ. Sci., 2. JASRI)

Keywords : Antigorite、Dehydration embrittlement、Deformation experiments

深さ60km以深で発生する深発地震のメカニズムの一つとして、含水鉱物の脱水反応が岩石断層運動を誘発する「脱水脆性化説」が注目されている。しかし、これまでの多くの実験研究は圧力5GPa以下の条件で行われており、トンガスラブのような深さ約300kmまで分布する地震現象を説明するには不十分であった。本研究では、カンラン岩カプセルを用いて、地球内部に近い状態でのアンチゴライト脱水反応を実験的に再現し、その過程で生じる脱水生成フルイドとマントル鉱物との化学的、物理的相互作用10GPaまでの変形場で明らかにすることを目的としている。実験は九州大学設置のD111型高圧発生装置(QDES2)およびSPRING-8のBL04B1設置の高圧装置SPEED Mk.IIIにD111型ガイドブロックを組み込んで、急冷法および放射光X線その場観察法によって行った。出発物質には長崎県川原木場産のアンチゴライト多結晶を円柱状に加工し、それを北海道幌満産のカンラン岩カプセルに封入した。実験は低温スラブ条件である8-10GPa、~400°C-700°Cにおいて変形を伴わない反応実験と、歪み速度4-の変形場での反応実験を比較しながら行っている。後者ではAEの測定を行い、またX線その場観察法では、60keVの単色X線で2次元X線回折(2D-XRD)およびラジオグラフィ測定を行い、反応や変形の進行をモニターした。回収試料はXRD、FE-SEM、EDSを用いて分析を行い、反応生成物の同定や化学組成分析、変形および反応組織を検討した。10GPa、500°Cにおける急冷法反応実験においてアンチゴライトはDHMS相である、Phase E($\text{Mg}_{2.3}\text{Si}_{1.3}\text{H}_2\text{O}_6$)、Phase A($\text{Mg}_7\text{Si}_2\text{H}_6\text{O}_{14}$)およびEnstatite(MgSiO_3)からなるサブミクロン相に分解した。また、アンチゴライトに接するカンラン岩カプセルのOlivineは脱水生成フルイドと反応し、内側にPhase AとEnstatite的な組成の2相、外側にPhase Eとみられる相からなる2層構造の反応帯が形成されていた。一方で、カンラン岩カプセル中のOpxやCpxはフルイドと反応せず、アンチゴライトとの境界部にも反応帯は形成されない。Olivineとの反応帯全体の幅は1時間3時間で $82(2)\mu\text{m} \rightarrow 115(5)\mu\text{m}$ に成長しているが、そのうちPhase E反応帯の幅はともに約 $15\mu\text{m}$ でほとんど変化していないことが特徴である。また、反応帯の外のOlivineにも脈状にPhase Eと思われる相が散在しており、脱水したフルイドは粒界に限らずOlivine中を浸透し、反応初期段階でまず準安定なPhase Eが生成、その後Phase A + Enstatiteに置き換わっていく可能性が示唆された。X線その場観察法からはアンチゴライトがPhase Eおよび10Å phase ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{H}_6\text{O}_{14}$)に分解した後にPhase Aの出現が確認される一連の分解反応が明らかになった。変形反応実験では、アンチゴライトの脱水分解に関連して断続的なAEが観測され、回収試料のカンラン岩カプセル中には局所的な断層組織が形成されていた。これら断層周辺には流体の流入跡も確認され、アンチゴライトの脱水反応による流

体生成がカンラン岩の脆性化を誘発したと考えられる。また、変形反応実験では、急冷反応実験で見られたようなアンチゴライトとカンラン岩境界の明確な反応帯は形成されず、代わりにDHMSと思われる脈状組織が、よりアンチゴライトから遠いオリビン内部にも形成されていた。差応力場では、カンラン岩部へのフルイドの移動がよりスムーズに起こることで、アンチゴライトの脱水反応とカンラン岩部の脆性化を誘起している可能性がある。これらのプロセスは、深さ300km付近で起こる稍深発地震のメカニズムとして有望であり、今後より詳細を検討していく必要がある。

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

🎵 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🎵 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

◆ Student Presentation Award Entry

4:40 PM - 4:55 PM JST | 7:40 AM - 7:55 AM UTC

[S3-09] Vertical Variation in Modal Mineralogy and Deformation Style from XCT Image Analysis of Oman Drilling Core Samples

*Takeo Okuwaki¹, Katsuyoshi Michibayashi^{1,2} (1. Nagoya University, 2. Volcanoes and Earth's Interior Research Center, IMG, JAMSTEC)

Keywords : peridotite、drilling cores、X-ray Computed Tomography analysis、modal mineralogy、deformation types

オマーン掘削プロジェクト (OmanDP; 2016~2018) ^[1]では、アラビア半島オマーン王国に分布するオマーンオフィオライトにおいて、地殻-マントル境界を掘削して連続的な柱状岩石コア試料が取得された。これらのコア試料は、すべて地球深部探査船「ちきゅう」に搭載された医療用X線CT装置 (Discovery CT 750HD, GE Medical Systems) を用いて撮影され、非破壊的に内部構造の三次元可視化が行われた^{[2][3]}。OmanDPのXCT分析条件は、加速電圧140 kV、電流100 mAである。CT画像は、XY面 (コア軸に垂直な断面) では512×512ピクセル (0.176 mm/pixel) の解像度、Z軸方向 (コア軸方向) では最大1.4m、1600スライス (0.625 mm/pixel) の解像度で取得された。

X線の減衰強度は、対象物を通過する長さおよびその線形減衰係数 (LAC) に依存する。LACは物質の密度と化学組成によって決まり、この減衰の程度はCT画像上でCT値 (Hounsfield単位、HU) として数値化される。CT値は、水の減衰係数を基準 (0 HU) とし、空気を -1000 HU、密度の高い物質 (例: アルミニウムなど) を数1000HUとする相対的なスケールであり、物質のX線吸収の度合いを表す。OmanDPの参照試料として使用されたアルミニウムのCT値は2450 HUである。XCT画像におけるCT値は、コア中の構成鉱物に対応しており、CT値を用いることで各鉱物の分布や体積比 (鉱物モード比) も推定可能である。さらに、スピネルや直方輝石の粒子形状は、初生カンラン岩の変形モードや形状異方性を反映しており、粒子の配向は線構造や面構造を規定し変形構造を特徴づける要素となる。このように、XCT画像は鉱物の割合・分布に加えて、形状や配向といった構造情報も得られる。

本研究は、OmanDPのBA3Aで回収されたカンラン岩コア試料のXCT画像を用いて、(1) 連続的な鉱物モード比のプロファイルを算出すること、(2) 粒子形状解析に基づいて、約300 mにわたる変形様式の鉛直変化を明らかにすることを目的とした。

はじめに、入射X線の連続スペクトルから有効エネルギーを算出し、それに基づいてカンラン岩を構成する鉱物の線形減衰係数 (LAC) を理論的に計算した^[4]。次に、計算された各鉱物のCT値を閾値としてXCT画像を処理し、直方輝石、スピネル、およびメッシュ状組織の領域に分離した。分離した鉱物のボクセル数のカウント結果をもとに、各鉱物が占める割合を計算し、鉱物モード比プロファイルを作成したところ、掘削深度が深くなるにつれて、蛇紋岩化の程度が低下し、直方輝石の割合が増加する傾向が明らかとなった。次に、分離結果の妥当性を評価するため、XCT画像から算出した鉱物モード比とXRD分析による定量結果との

比較、さらに鉱物マップと薄片観察画像との照合を行った。さらに、抽出された鉱物粒子に対して形状解析を実施し、変形モードおよび形状異方性を定量化した。その結果、浅部域では変形モードや粒子の形状異方性に不均質性が見られる一方、深部ではこれらが比較的安定していることが示された。

本講演では、得られた鉱物モード比プロファイルおよび変形プロファイルを、密度・地震波速度 (V_p) ・空隙率・クラック密度などの物性値データ^[5]と比較し、それらの相関関係について議論を行う。

参考文献

- [1] Kelemen et al., 2020, Proceedings of the Oman Drilling Project.
- [2] Okazaki et al., 2021, Solid Earth, **12**(12), e2021JB022719.
- [3] Akamatsu et al., 2023, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, **24**(6), e2022GC010792.
- [4] Bam et al., 2020, *Minerals*, **10**(5), 441.
- [5] Katayama et al., 2021, *Tectonophysics*, **814**, 228978.

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🗨️ Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

◆ Student Presentation Award Entry

4:55 PM - 5:10 PM JST | 7:55 AM - 8:10 AM UTC

[S3-10] Signatures of mantle melts/fluids within olivine xenocrysts from Oshima-Ōshima picritic basalts

*Ryo Tsukawaki¹, Terumi Ejima², Atusi Ninomiya³, Yuto Sato⁴, Hirochika Sumino⁵, Shoji Arai⁶
(1. Shinshu Univ. Sci., 2. Shinshu Univ. Sci., 3. Sumiko Res. Exp. & Dev. Co., 4. JAMSTEC Kochi, 5. RCAST, Univ. of Tokyo, 6. Kanazawa Univ.)

Keywords : Mantle、Picritic basalt、Olivine、melt/fluid、Oshima-Ōshima

マントル内でメルトと流体が分離する以前の超臨界状態の流体（メルト／流体）は、マグマ成因や元素および揮発性成分の分配・輸送メカニズムを規定する鍵となる（e.g., Kawamoto et al., 2012）。しかし、マントルにおけるメルト／流体に関する研究の多くは実験的手法によるものであり、天然試料を用いてその組成や挙動について検証されている例は極めて少なく（e.g., Taniuchi et al., 2021）、その実体には未解明な点が多く残されている。著者らのこれまでの研究では、渡島大島ピクライト玄武岩中の一部のかんらん石がマントル捕獲結晶であること、およびその内部にメルト／流体の痕跡が保存されていることを示した（塚脇ほか, 2024, 鉱物科学会）。これらの痕跡から、上部マントルでメルト／流体が単なる鉱物粒間だけでなく、かんらん石の結晶内部も移動経路としていたことを示した（塚脇ほか, 2024, 鉱物科学会）。一方で、これらのメルト／流体の痕跡について、その起源および組成については明らかになっていない。以上を踏まえ、本研究ではピクライト玄武岩中のマントル捕獲結晶であるかんらん石に保存されているメルト／流体の痕跡から、その起源および組成の解明を目的とする。ピクライト玄武岩に含まれるマントル捕獲結晶のかんらん石中のメルト／流体の痕跡を対象に、電界放出型電子プローブマイクロアナライザ（信州大）による観察および組成分析を行った。また、³He/⁴He比測定（東京大）を行い、マントル起源の同位体的特徴を検証した。さらに、フーリエ変換型赤外分光分析計（FTIR, JAMSTEC高知コア研究所）によるメルト／流体中に含まれる揮発性成分の検出を行なった。渡島大島ピクライト玄武岩中に含まれるかんらん石斑晶のコアは黒色～褐色を呈する（このコアを以降は“Dark core”とよぶ）。この“Dark core”にはキंकバンドや波動消光が見られ、応力を受ける環境下に存在していたことを示す。また、“Dark core”のかんらん石のFo値およびNiO含有量は上部マントル由来のかんらん石の値（Olivine Mantle Array, 高橋, 1986）と同様の値（Fo₉₀₋₉₂, 0.47-0.31 wt%）であり、“Dark core”がマントル捕獲結晶のかんらん石であることを示す。さらに、“Dark core”には、直径数μmの球形の“多相包有物”が多数含まれており、そのために黒色を呈する。これらの“多相包有物”は自形のクロムスピネル、ガラスおよび空隙（マントルで流体であった相）から構成され、ガラス相からはNa, ClおよびF等、かんらん石には不適合な元素が検出された。また、流体相から得られた³He/⁴He比は $8.29 \pm 0.05 R_A$ であり、中央海嶺玄武岩の起源となるマントルの値の範囲（7-9 R_A , Graham, 2002）と一致す

る．さらに、FTIR分析の結果、“Dark core”から H_2O および CO_2 が検出された．以上の結果より、メルト/流体は流体相として H_2O および CO_2 を含有していることが明らかになった．また、このメルト/流体にはNaなどのかんらん石構造に入りにくい陽イオンに加え、ClおよびF等のハロゲン元素を含んでいたことが示された．EBSD法による結晶方位解析により、“多相包有物”はかんらん石の(100)または(010)面上に分布していることが明らかになった．これらの結晶面は、マントルにおけるすべり面とも関連しており（Jung and Karato, 2001）、メルト/流体がかんらん石結晶内部を移動・貯蔵する際の結晶学的制約を反映している可能性がある．以上の結果より、渡島大島下の上部マントルでは、Na、ClおよびFを含むメルト/流体（ $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ）がかんらん石結晶内部を移動・滞留することができたと考察する．

References:

Graham, 2002, *Rev. Mineral. Geochem.*, **41**, 247-318, Jung and Karato, 2001, *Science*, 293, 1460-1463, Kawamoto et al. 2012, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **109**, 18695-18700, 高橋, 1986, 火山, **30**, 17-40, Taniuchi et al., 2021, *J. Petrol.*, **62**, egab099, 塚脇ほか, 2024, 鉱物科学会講演要旨

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

🎵 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🎵 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

◆ Student Presentation Award Entry

5:10 PM - 5:25 PM JST | 8:10 AM - 8:25 AM UTC

[S3-11] Seawater penetration velocity along the outer-rise fault estimated from the permeability of peridotite

*Yuichiro Naruse¹, Ikuo Katayama¹ (1. Hiroshima Univ.)

Keywords : Outer-rise fault、Peridotite、Permeability、Triaxial deformation

海溝海側では、沈み込みに伴って海洋プレートが屈曲することにより、広域的な海底地形の高まり、アウターライズが形成され、地震も発生している。それに伴い、海洋プレート表層部には引張応力によって正断層が発達し、断層に沿って海水が海洋地殻、さらにはマントル最上部にまで浸透すると考えられている。本研究では、マントルへの水の浸透プロセス、特にアウターライズ断層での海水の浸透速度を明らかにするため、カンラン岩の試料を用いて三軸変形実験を行い、変形実験中と破壊後の浸透率の変化を測定した。また、変形実験後は、浸透率の圧力効果を調べるために静水圧下での実験を行った。これらの結果に基づき、アウターライズ断層に沿って浸入する海水の浸透速度と亀裂の浸透率からアウターライズ断層が生み出す熱流量を計算し、実際の観測と比較しながら議論する。

本研究では、試料に北海道の日高山脈にあるアポイ岳周辺で採取された幌満カンラン岩を用いた。作成した薄片とEPMAでの反射電子像観察から、主要構成鉱物は、カンラン石、斜方輝石、Cr-スピネルで、変質をほとんど受けていなかった。実験には、広島大学に設置されている圧力容器内変形透水試験機を用いた。実験は、室温で、一定の歪速度(1.8×10^{-6} /s)、封圧5-10 MPa、間隙圧は1.0-1.7 MPaの条件下で行った。軸歪と周歪は2つの歪ゲージによって測定し、浸透率は、粘性の低い窒素ガスを間隙流体として用いて測定した。また、試料破壊後には静水圧下での実験を行い、間隙流体には水を用いて、間隙圧は0.5 MPaで一定、封圧は5-200 MPaまで変化させて浸透率の圧力効果を検証した。

実験の結果、カンラン岩は変形初期段階から中盤まで弾性的な挙動が確認され、破壊直前の高い差応力下では試料が少し体積膨張(ダイラタンシー)することが明らかとなった。この破壊前の応力-歪曲線の非線形関係は脆性変形時の典型的な挙動で、試料中のマイクロクラックの発達を反映している。最大差応力は、封圧5 MPa下では、312-378 MPa、封圧10 MPa下では、425-452 MPaとなり、封圧の上昇に伴う最大差応力の上昇傾向がみられた。変形前の浸透率は 10^{-20} - 10^{-19} m²で、変形中の浸透率はほぼ一定であり、最大差応力の96-99%の破壊直前で急激に上昇した。いくつかの実験では最大差応力では変化せず、破壊後の応力降下中に浸透率が急激に上昇した。破壊後の浸透率は 10^{-16} - 10^{-15} m²となり、破壊前後で3-5桁の浸透率の変化がみられた。試料破壊後に行った静水圧下での実験では、封圧の上昇に伴い、浸透率が減少する傾向がみられ、浸透率変化は実験前後で約3桁の減少が観察された。また、高い封圧下では浸透率はおおよそ一定の値となった。なお、浸透率の圧力効果は一定ではなく、封圧40-60 MPaまで浸透率は封圧に対して指数関数的に減少し、その後は線形関係に変化した。

これらの破壊したカンラン岩の浸透率に基づいて、断層に沿って海水が浸透する速度をダルシーの法則によって算出した。計算では、断層先端の水圧をゼロとして、水深4,000 mでの水圧を流体移動の駆動力とした。そして、パーコレーションモデルに基づき、断層に沿って海水が浸透する深さを求めた。その結果、海水の断層に沿った拡散距離は、100万年で100-150 kmに達することが分かり、アウターライズ断層深部にまで海水は十分に浸透し、マントルまで到達しているといえる。また、得られた亀裂の浸透率から温度差を駆動力として断層内の流体循環が生み出す熱流量を計算すると、数十mW/m²の熱流量を生み出すことが推定され、これはアウターライズ領域で確認されている高熱流量異常と調和的である。

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

🎵 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🎵 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

◆ Student Presentation Award Entry

5:25 PM - 5:40 PM JST | 8:25 AM - 8:40 AM UTC

[S3-12] Study of geological structures and rock textures associated with strain relief along plate boundary faults

*Haruki Yoshiasa¹, Jun-ichi Ando^{1,3}, Kaushik Das^{1,3}, Dyuti Prakash Sarkar^{2,3} (1. Hiroshima Univ., 2. Yamaguchi Univ., 3. HiPeR)

Keywords : Bedding plane slip、Main boundary fault、Microstructure observation、Frictional heating、Dynamic recrystallization

【はじめに】 ヒマラヤ地域は、インド亜大陸とアジア大陸の衝突に伴い形成され、3つの主要なプレート収束境界断層（主前縁衝上断層（MFT）・主境界衝上断層（MBT）・主中央衝上断層（MCT））が存在する。現在でもインド亜大陸は北上を続けており、その結果ヒマラヤ地域では地震が発生している。Bilham (2019)は、沈み込みに伴って蓄積された歪は、地震によって完全には解放されておらず、いずれMw=8.6レベルの地震が1~2回発生する可能性が強いと結論づけている。一方で、大陸プレートの衝突に際し、プレート境界でどのような地質現象が生じているのかということは明らかにされておらず、歪がどのように解放されているかは明らかにされていない。そこで本研究では、このことを明らかにするために、地質調査および岩石の微細組織のキャラクタリゼーションを行った。

【研究対象地域】 インド・ヒマチャルプラデシュ州サバスー市に露出するMBTを挟む3×2 kmの範囲である。MBTは、約10 - 0.5 Maの間に活動した断層(Meigs et al.1995)である。地表に露出するMBTの上盤側は220℃、下盤側は180℃の温度条件下で変形した岩石が露出する(Sarkar et al.2021)。MBTの上盤には、先カンブリア時代の砂岩層が主に分布する。砂岩単層の層厚は約5 - 30 cmである。泥岩層（単層の層厚約2 cm）との互層も確認できる。下盤には新第三期の石灰質砂岩が主に露出し、方解石脈が広く確認できる。研究の結果、以下の事が明らかとなった。

【結果：野外調査】 1) MBTの上盤側では、調査域全体で層面滑りの痕跡を確認した。2) 褶曲や小断層が発達する幅100 - 500 mの領域（歪集中帯）が複数確認できる。歪集中帯と整合層の分布からセクション分けすると、それぞれの地層の走向はほぼ同一ながら、傾斜はセクションごとに最大で約60度回転している事が分かる。3) 層面滑り面上に発達する“すべり線”と“キンクバンド”から、それぞれすべりの方向と主圧縮軸の方向を求めた。その結果、それらはMBTの活動と整合的なものが多いことが明らかとなった。4) 滑り面上には、すべり線と平行な長さ5 - 10 cmの白い筋が確認された。

【結果：層面滑りを受けた砂岩の微細組織観察】 5) 層面滑りは、砂岩単層内部に層理面と平行に複数形成されている。剪断面は、1 - 10 mmの幅をもっており、この内部ですべりが生じている。6) 各剪断面は小歪から大歪の状態を記録している。歪が大きくなるに従って、石英（あるいは長石）が流体と反応し細粒化するとともに白雲母が晶出する。7) すべり面の内部には、砂岩を構成する約10 μmの石英粒子が剪断方向に伸長し波動消光を示して

いる。この様な塑性変形した石英から石英脈が生じている。このことは、砂岩を構成する石英粒子が剪断による摩擦熱によって塑性変形し、石英粒子から石英脈が形成されたことを強く示唆する。この石英脈は、結果4)の白い筋に対応する。8) 塑性変形した石英粒子の結晶方位をEBSDによって測定した。その結果、basalすべりによる転位クリープによって形成されたCPOが確認できた。このCPOは300~400°Cで卓越することが知られている(Zuo et al.2021)。石英脈中の動的再結晶を受けた石英の粒径は約2 μm である。再結晶粒径による地質差応力計を用いて差応力を見積もり、温度と差応力値から石英脈形成時の歪速度を推定した。その結果、差応力 925 MPa、歪速度 $10^{-10} - 10^{-8}$ /s、すべり速度 $10^{-12} - 10^{-10}$ m/sとなった。このすべり速度は、Rowe et al.(2015)で示されたSSEのすべり速度と対応する。

これらの結果から、プレート衝突帯の衝上断層の上盤側では、層面滑りが卓越しており、その運動による摩擦発熱によって80°C程度の温度の上昇があったことが明らかとなった。そのため、プレートの沈み込みを起因として生じる歪エネルギーの一部は、“層面滑りの運動”と“すべりによる摩擦発熱”によって解放されている可能性が示唆される。

現在、CPOを形成している石英粒子に亜結晶粒界での滑り系解析 (Menegon et al.2011)を行っている。これらの結果についても、報告する予定である。

Oral presentation | S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

🎵 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 9:00 AM UTC 🎵 Oral
Presentation C(Room No. 28)

S3: Rheology and Material Transfer in Mantle and Crust (Special Session)

Chairperson: Ikuo Katayama(Hiroshima University), Miki Tasaka(Shizuoka University), Tomoaki Kubo(Kyushu University)

5:40 PM - 5:55 PM JST | 8:40 AM - 8:55 AM UTC

[S3-13] Seismic discontinuity in the Martian crust possibly caused by the presence of aquifer

*Ikuo KATAYAMA¹, Yuya Akamatsu² (1. Hiroshima University, 2. JAMSTEC)

Keywords : Mars、Seismic discontinuity、Water

地震計を備えた火星探査機InSightによって、火星の地殻内に地震波速度の不連続面が存在することが明らかになりました (e.g., Lognonne et al. 2023)。その原因としては、火星地殻の岩石種が異なることや空隙率が変化することが提案されています (Wieczorek et al. 2022)。しかし、地震波速度は岩石中の空隙を満たす流体の種類 (空気や水) によっても大きく異なるため、火星で検出された地震波不連続構造は、空隙を満たす流体が変化すること、すなわち帯水層が存在することでも説明が可能ではないかと考えました。そこで、私たちは火星を模擬した岩石を用い、空隙が空気と水で満たされた場合にどのような地震波速度になるかを実験室で検証しました。試料は、火星隕石のシャーゴットタイトに化学組成や組織が似ているスウェーデン産のダイアベースを用い、熱クラックを生成させることで空隙率の異なるサンプルを準備しました。その岩石を乾燥条件 (空隙は空気で満たされる) と含水条件 (空隙は水で満たされる) において、パルス透過法によって地震波速度 (V_p , V_s) を測定しました。その結果、地震波速度は空隙率の増加とともに系統的に低下し、空隙が水で満たされた方が空気で満たされた場合よりも速度が顕著に速くなりました。これらの結果に有効媒質理論を適用すると、空隙の形状は扁平でクラック状であることが推察されました。これらの結果に基づいて、深さ方向に空隙率は一定と仮定し、乾燥条件から含水条件に移行することで地震波速度がどのように変化するかを計算しました。その結果、空隙率が1%程度であれば、空隙を満たす流体が空気から水に移行することで、地震波探査で検出される火星地殻内の地震波不連続面を説明できることがわかりました。また、その深さで V_p/V_s が上昇していることも、空隙が水で満たされた帯水層があることと調和的です。地震波構造は現在の火星内部の状態を反映しているため、これらのことは現在の火星においても地下に液体の水が存在することを示唆します。とはいうものの、これは一つの仮説であって地震波不連続面の成因に決着がついたわけではありません。今後は水に敏感な性質をもつ電気比抵抗などの構造探査によって、火星内部での水の存在がさらに検証されていくことを期待したいと思います。