

Session Poster | T4 [Topic Session] Deformation and reaction of rocks and minerals activities

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 🏛️
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

[T4-P-1]

Assessment of Natural Hydrogen Potential in Kyushu Focusing on Serpentinization Reaction - Outcrop Survey and Initial Analysis in Nagasaki, Oita and Kumamoto

*Akihiro Shishida¹, Yasuhiro Yamada², Keiichi Ishizu², Akane Ito² (1. Kyushu University Graduate School of Engineering, 2. Kyushu University Faculty of Engineering)

📌 entry 📌 ECS

[T4-P-2]

Frictional behavior of landslide-prone soils influenced by water adsorption

*Ryosei OMORI^{1,2}, Miki TAKAHASHI², Hideo HOSHIZUMI³, Ayumu MIYAKAWA³, Shigeo OKUMA³, Shin-Ichi UEHARA¹ (1. Graduate School of Science, Toho University, 2. Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST, 3. Research Institute of Geology and Geoinformation, AIST)

📌 entry 📌 ECS

[T4-P-3]

Deformation mechanisms and rheology of plate boundary rocks in subduction zones

*Yuto Yamasaki¹, Kohtaro Ujiie¹, Thomas Yeo¹ (1. University of Tsukuba)

[T4-P-4]

Mass transfer in a hydrated ductile shear zone developed in the crust-mantle boundary

*Itsuki NATSUME¹, Katsuyoshi MICHIBAYASHI^{2,3}, Atsushi OKAMOTO⁴ (1. Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, GSES, Nagoya University, 3. Volcanoes and Earth's Interior Research Center, IMG, JAMSTEC, 4. Graduate School of Environmental Studies)

📌 ECS

[T4-P-5]

In-situ oxygen isotope analysis of serpentine from the lower crust to the upper mantle sections of the Oman Ophiolite

*Kazuki YOSHIDA¹, Maria Rosa Scicchitano², Atsushi Okamoto³ (1. High Energy Accelerator Research Organization, 2. GFZ Potsdam, 3. Tohoku Univ.)

📌 entry 📌 ECS

[T4-P-6]

Estimating strain rates and shear stresses along subduction zone plate boundaries: Insights from quartz deformation mechanisms and rheological properties

*Shota Komagino¹, Kohtaro Ujiie¹, Thomas Yeo¹, Norio Shigematsu² (1. University of Tsukuba, 2. AIST)

📌 entry

[T4-P-7]

Transition of deformation mechanisms in chlorite-actinolite schist depending on actinolite grain size

*Kotaro KUBOTA¹, Ken-ichi HIRAUCHI¹, Thomas YEO² (1. Department of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University, 2. University of Tsukuba)

◆ entry ◆ ECS

[T4-P-8]

Structural Characteristics and Tectonic Setting of a Crustal Scale Shear Zone: The Gadag-Mandya Shear Zone, Dharwar Craton, India

*Manato Urakawa¹, Lakshmanan Sreehari¹, Yoshihiro Nakamura² (1. Shimane Univ., 2. AIST)

◆ entry ◆ ECS

[T4-P-9]

Re-examination of the mylonitization of plagioclase lherzolite in the Uenzaru peridotite complex, Hidaka Metamorphic Belt, Hokkaido

*So INOUE¹, Katsuyoshi MICHIBAYASHI¹ (1. Department of Earth and Planetary Sciences, GSES, Nagoya University)

◆ entry

[T4-P-10]

Effect of water injection on effective normal stress on friction behavior

*Riku IWATA^{1,2}, Manami KITAMURA², Michiyo SAWAI³, Shinichi UEHARA¹ (1. Toho University, 2. GSJ, AIST, 3. Chiba University)

[T4-P-11]

Microstructural analysis in the Nadagawa Fault (subsidiary fault) slipped during the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake

*Kotaro Aiyama¹, Masaki Suehiro², Kazunari Kimura³ (1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Hanshin consultants Co., Ltd., 3. K-geo)

[T4-P-12]

Rock Frictional Properties and Rupture Arrest Mechanisms at the Kumamoto Earthquake Termination: An Experimental Study

Kazuo Mizoguchi¹, *Takahiro Iida², Tomonori Taniguchi², Sachiko Iizuka² (1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. CERES)

◆ entry ◆ ECS

[T4-P-13]

Petrology of mafic and felsic volcanoes from Southern Ryukyu Arc and Okinawa Trough

*Naoki UZAWA¹, Yuji ICHIIYAMA¹, Ayanori MISAWA², Osamu ISHIZUKA² (1. Chiba Univ., 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

◆ ECS

[T4-P-14]

Stress state at shallow crust estimated from outcrop-scale faults in the altered dike

*Noriaki Abe^{1,2}, Toru Nakajima^{1,3}, Nariaki Nishiyama¹, Hiroaki Hakoima^{1,4}, Takanori Ishihara^{1,5}, Fukuka Kida¹, Yasuhiro Ogita¹, Masakazu Niwa¹ (1. Tono Geoscience Center, Japan Atomic Energy Agency, 2. Research Institute for Geo-Resources and Environment, Geological Survey of Japan, AIST, 3. University of Toyama, 4. OYO Corporation, 5. Chuo-Kaiatsu Corporation)

[T4-P-15]

Elements migration by iso-volumetric weathering in andesite

*Eiji NAKATA¹ (1. Central Research Institute of Electric Power Industry)

[T4-P-16]

How does stress condition and yield criterion affect permeability of shear zones induced in the Kazusa Group mudstones?

*Miyu Matsubara¹, Shinichi Uehara¹ (1. Toho Univ.)

◆ ECS

[T4-P-17]

Evolution of mechanical properties, energetics, and microstructures associated with frictional melting during repeated seismic slips on simulated gabbroic faults

*Dyuti Prakash Sarkar¹, Takehiro Hirose², Wataru Tanikawa², Yohei Hamada², Hanaya Okuda² (1. Yamaguchi Univ., 2. Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC)

◆ entry

[T4-P-18]

Experimental study on the effect of humidity on the frictional behavior of quartz-bearing rocks at intermediate to high velocities

*Mamoru Hatanaka¹, Akito Tsutsumi¹ (1. Kyoto university)

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

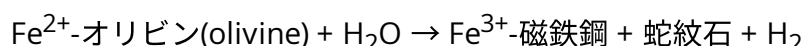
[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

[T4-P-1] Assessment of Natural Hydrogen Potential in Kyushu Focusing on Serpentinization Reaction - Outcrop Survey and Initial Analysis in Nagasaki, Oita and Kumamoto

*Akihiro Shishida¹, Yasuhiro Yamada², Keiichi Ishizu², Akane Ito² (1. Kyushu University Graduate School of Engineering, 2. Kyushu University Faculty of Engineering)

Keywords : Ultramafic rock、Serpentinite、Natural Hydrogen

脱炭素社会の実現に向け、二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギー源として水素の利活用が期待されている。その中で、地下で自然に生成される天然水素が新たなエネルギー資源として世界的に注目を集めている。国内では、長野県白馬村の八方温泉において、かんらん岩などの超苦鉄質岩が水と反応して蛇紋岩に変化する蛇紋岩化反応に伴い生成された天然水素が確認されている。蛇紋岩化反応では、かんらん石に含まれる2価の鉄イオンが水と反応し、3価の鉄イオンを含む磁鉄鉱（マグネタイト）などを晶出する過程で、副産物として水素が生成される。蛇紋岩化反応は200~350℃において反応が活発になることがわかっている。



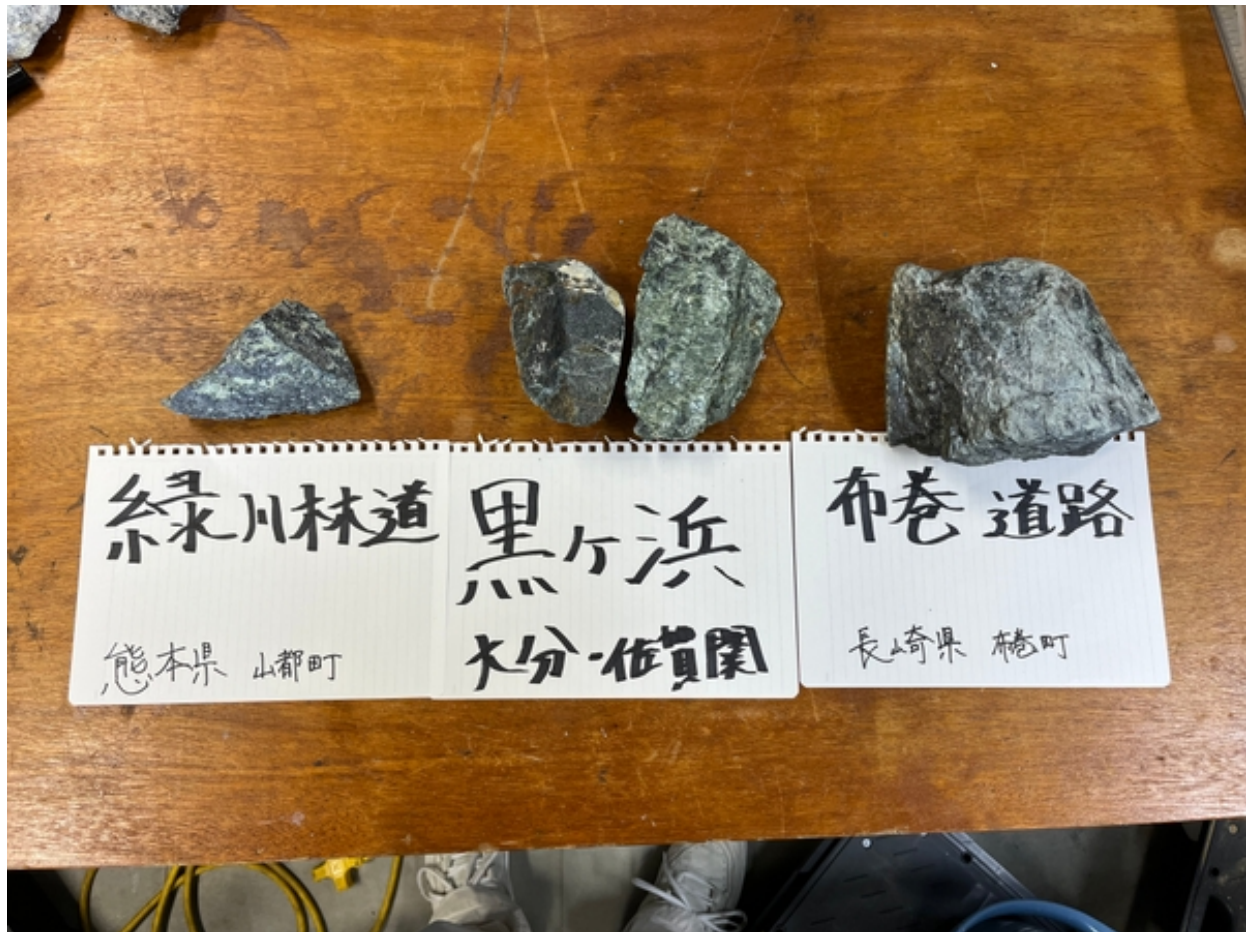
九州地方では、長崎県長崎市南西部、大分県佐賀関半島、そして熊本県山都町から宮崎県五ヶ瀬町にかけての地域に蛇紋岩体が点在している。本研究では、これらの蛇紋岩が天然水素の根源岩となりうる可能性に着目し、その生成ポテンシャルを評価することを目的とする。調査にあたり、まず産業技術総合研究所の「20万分の1日本シームレス地質図」を用いて蛇紋岩の分布域を抽出し、地理情報システム（GIS）や衛星写真等を活用して現地調査が可能な露頭を選定した。その結果、各地域の蛇紋岩には顕著な特徴の違いが認められた。

長崎県（布巻道路周辺）：原岩である超苦鉄質岩の組織や鉱物が比較的多く残存していた。

大分県（黒ヶ浜周辺）：蛇紋岩化が著しく進行しており、露頭表面は部分的に粘土化していた。

熊本県（緑川林道）：強いせん断変形を受けていた。

これらの岩石学的特徴の多様性は、原岩の化学組成や形成後の広域的なテクトニクスの影響を反映しているものと推察される。特に、蛇紋岩化の進行度や変形の様式は、水素の生成効率や、生成された水素の地下での移動・集積プロセスを制御する重要な要因と考えられる。本発表では、これら九州各地の蛇紋岩の産状と岩石学的特徴を報告し、それぞれの特徴が天然水素の生成・胚胎ポテンシャルに与える影響について考察する。



📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ entry ◆ ECS

[T4-P-2] Frictional behavior of landslide-prone soils influenced by water adsorption

*Ryosei OMORI^{1,2}, Miki TAKAHASHI², Hideo HOSHIZUMI³, Ayumu MIYAKAWA³, Shigeo OKUMA³, Shin-Ichi UEHARA¹ (1. Graduate School of Science, Toho University, 2. Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST, 3. Research Institute of Geology and Geoinformation, AIST)

Keywords : clay、friction strength、rate-dependent friction、total specific surface area、adsorbed water

我々は変質作用による岩石・土壌の粘土化が、地すべりのすべり様式に与える影響を評価することを目的に、地すべり土の物性試験を行っている。特に、①「地すべり土の摩擦強度およびそのすべり速度依存性を決定する因子」を明らかにすること。さらに、②「それら摩擦特性がすべり様式に与える影響」を明らかにしたい。地すべりの発生しやすさは、地すべり面を構成する物質の摩擦強度が決める (Skempton, 1985)。しかし、地すべりが安定的にすべるか、不安定なすべりに至るかは、摩擦強度そのものが決めているわけではなく、すべりの加速に伴う摩擦強度の増減が決定する (Dieterich, 1979)。

そこで①の解明のために、熊本県の阿蘇中央火口丘群西部の斜面崩壊多発地帯から採取した風化火山灰土を対象に、地すべりを模擬した剪断実験を実施した。加えて、各種性質（粘土鉱物量・吸着水量・全比表面積）と、摩擦強度およびそのすべり速度依存性の関係について検討した。①で得られた成果を②に発展させることを念頭に、令和5年6月30日豪雨による大分県湯布院町畑倉にて発生した地すべりを例に現地調査と大分県より提供を受けたボーリングコアの観察を行っている。

①において、X線回折分析の結果、試料にはスメクタイト、カオリナイト、アルナイト、非晶質シリカ、ガラスが含まれていた。ここで、粘土鉱物量と吸着水量は熱重量・示差熱分析を用いて推定した。各試料40 mgを1000°Cまで加熱し、室温から250°Cまでは吸着水の脱水による重量減少とし、それ以上の温度では、各鉱物の熱分解反応生成物の揮発による重量減少と考え、この揮発成分の重量から粘土鉱物量と吸着水量を求めた。全比表面積はEGME法で求めた (Eltantawy and Arnold, 1973)。EGME法は、外部比表面積のみならず、スメクタイトの層間を含む比表面積を測定できる。これにより、熱重量・示差熱分析で求めたスメクタイト含有量、吸着水量を全比表面積と比較することができる。剪断実験は、回転式高速摩擦試験機を用いた (Togo and Shimamoto, 2012)。常温、垂直応力1 MPa程度、含水条件のもと、すべり速度を $10 - 10^2 \mu\text{m/s}$ の範囲で、摩擦強度のすべり速度依存性を測定した。また、一定のすべり速度 $4.8 \mu\text{m/s}$ で24時間剪断し、摩擦強度の定常状態の値を得た。

用いた試料を大別すると、スメクタイトが多い試料と、カオリナイトを多く含む試料に分かれた。スメクタイトとカオリナイトの含有量の最大値は、それぞれ74 wt.%, 31 wt.%であった。吸着水量はスメクタイト含有量に依存せず、最大で18 wt.%であった。また、全比表面積の最大値は、 $549.3 \text{ m}^2/\text{g}$ であった。全比表面積と粘土鉱物量（特にスメクタイト）との間に明瞭な相関はみられず、むしろ、全比表面積と吸着水量に高い相関が確認された。定常状

態の摩擦強度は0.11 MPaから0.53 MPaの範囲を取り、粘土鉱物量との明瞭な相関はみられなかった。一方、全比表面積、吸着水量と定常状態の摩擦強度との間には、それぞれ負の相関が確認された。また、摩擦強度のすべり速度依存性は、大きい全比表面積を持つ試料では、すべり速度 $10^0 - 10^1 \mu\text{m/s}$ で速度中性となり、すべり速度 $10^2 \mu\text{m/s}$ で速度強化を示した。一方で、小さい全比表面積を持つ試料では、すべてのすべり速度で速度弱化を示した。以上より、土壌の全比表面積が、水の吸着能力を支配し、かつ、吸着した水が摩擦強度を低下させていると考えられる。また、大きい全比表面積を持つ土壌は、低い摩擦強度に起因して緩傾斜でもすべりやすいが、安定なすべりを示すと考えられる。当初、スメクタイトの量が多ければ、土壌の吸着水が多くなると予想したが、必ずしもそうではないようである。

②について現時点での進捗を記す。畑倉地区周辺は、前期更新世の川西安山岩を基盤岩とする熱水変質地帯である（星住ほか, 1988）。崩壊壁の西側斜面の現地調査の結果、脈状の青白色の粘土がみられ、西側斜面外側でのボーリングコアにおいても強い変質が確認された。一方で、東側斜面は現地調査・ボーリングコアの観察結果どちらにおいても原岩に亀裂が多くみられ、粘土化している箇所は少ない。よって、地すべり地内で異なる摩擦特性を持つ物質が不均質に分布していた可能性がある。今後、ボーリングコアの物質解析と剪断実験を行い、摩擦特性がすべり様式に与えた影響を評価していきたい。

文献

Dieterich (1979) *JGR*. Eltantawy and Arnold (1973) *J. Soil. Sci.* 星住ほか (1988) 5万分の1別府図幅. Skempton (1985) *Géotechnique*. Togo and Shimamoto (2012) *J. Struct. Geol.*

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 🏛️
 T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ entry ◆ ECS

[T4-P-3] Deformation mechanisms and rheology of plate boundary rocks in subduction zones

*Yuto Yamasaki¹, Kohtaro Ujiie¹, Thomas Yeo¹ (1. University of Tsukuba)

Keywords : deformation mechanisms、rheology、slow slip、chlorite-actinolite schist、blueschist

Chlorite-actinolite schist (CAS) and blueschist are among the primary lithologies constituting the subduction plate boundary from the downdip end of the seismogenic zone to the vicinity of the mantle wedge. However, their deformation mechanisms and rheological properties remain controversial. We investigated a subduction mélange in western Kyushu, Japan, deformed at ~500 °C and ~1.1 GPa under epidote-blueschist facies metamorphic conditions, comparable to those in the source region of deep slow slip events (SSEs) in the Nankai subduction zone beneath Shikoku. The mélange exhibits localized viscous shear along multiple 2–60 cm-thick CAS layers intercalated with metabasite (or blueschist) and metasediments, with a shear direction consistent with that of megathrust shear. Microstructural and electron backscattered diffraction analyses of CAS reveal that actinolite exhibits aluminum zoning along its long axis, weak crystallographic preferred orientation (CPO), and low grain orientation spread (GOS) values. These features suggest deformation was primarily accommodated by dissolution-precipitation creep. In contrast, glaucophane in blueschist occurs as microboudins, with sodic-calcic to calcic amphiboles diffusing into boudin necks. Glaucophane displays weak CPO, low GOS values, and *c*-axis maxima aligned parallel to the shear direction. These observations indicate that blueschist deformed mainly via diffusion creep, limited by microboudinage. Rheological analysis using flow laws for dissolution-precipitation creep and diffusion creep suggests that blueschist is mechanically weaker than CAS, which is consistent with the observed localization of viscous shear along CAS layers. At estimated shear stresses along modern megathrust interfaces in the source region of deep SSEs (~10–30 MPa), viscous shear in CAS occurred at strain rates one to two orders of magnitude higher than those of blueschist, which range from $2.8 \times 10^{-13} \text{ s}^{-1}$ to $2.6 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$. This suggests that, while blueschist accommodates aseismic creep, the relatively higher strain rates localized in multiple CAS layers may play a critical role in the generation of deep SSEs.

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

[T4-P-4] Mass transfer in a hydrated ductile shear zone developed in the crust-mantle boundary

*Itsuki NATSUME¹, Katsuyoshi MICHIBAYASHI^{2,3}, Atsushi OKAMOTO⁴ (1. Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, GSES, Nagoya University, 3. Volcanoes and Earth's Interior Research Center, IMG, JAMSTEC), 4. Graduate School of Environmental Studies)

Keywords : the crust-mantle boundary、the Moho Transition Zone、hydrated ductile shear zone、mass transfer、Oman ophiolite

岩相境界における水-岩石反応では拡散や移流といった流体を媒介とした物質移動が起き、反応帯が形成される(e.g. Codillo et al. 2022)。このようにして形成される反応帯は鉱物組成や組織の違いからレオロジーにも大きな影響を与えうる。一方で、剪断帯などの変形が進行する領域では機械的混合による物質移動についても指摘されている(e.g. Bebout and Barton, 2002)。機械的混合では流体を介して移動しにくい元素の移動も起きるため、拡散や移流による反応帯とは異なる化学反応が予想される。したがって、含水延性剪断帯における機械的混合の影響について明らかにすることは、化学反応進行にともなうレオロジー変化を議論するうえで重要である。そこで本研究ではNatsume et al. (2025 投稿中)で研究された、海洋プレートの地殻-マントル境界に発達した含水延性剪断帯を対象として、機械的混合と流体を媒介とした元素移動について考察した。

対象の含水延性剪断帯はモホ遷移帯と呼ばれるダナイトとハンレイ岩が貫入により混ざり合った領域の岩石を原岩としており、主要な鉱物組み合わせが異なる5つの変形岩組織が確認された(Natsume et al., 2025 投稿中)。本研究では、水-岩石反応により形成された角閃石主体のAmp domain と緑泥石主体のChl domain について全岩化学組成分析を行い、原岩の全岩化学組成と比較した。流体中での移動度が比較的低いと考えられているCrとAlについてCr(ppm)-Al₂O₃(wt.%)図を作成したところ(cf. Bebout and Barton, 2002)、ダナイトはCrに富みAl₂O₃に乏しい一方で、ハンレイ岩はAl₂O₃に富みCrに乏しいという関係性が得られた。単純な機械的混合を仮定すると、ダナイトとハンレイ岩の組成を結ぶ線分上に全岩化学組成が分布するが、Amp domainの全岩化学組成は、その線分よりもCrとAl₂O₃が共に少ない領域に、Chl domainはハンレイ岩と同程度のCrかつハンレイ岩よりAl₂O₃が多い領域に分布した。また、Al₂O₃/Cr比については、Chl domainではハンレイ岩と同等かそれ以上、Amp domainではダナイトとハンレイ岩の間の値を取った。

以上の結果より、Amp domainとChl domainの形成はダナイトとハンレイ岩の単純な混合物が化学反応したものとしては説明できず、Amp domainでは機械的混合に加えて、外部からの元素の付加によるCrとAl濃度の減少、Chl domainではハンレイ岩からの元素の離脱によるAlの濃集が起きていた可能性がある。本発表ではこれら分析結果を基に、含水延性剪断帯中の物質移動メカニズムについて議論する。

【引用文献】 Bebout and Barton, 2002, *Chemical Geology*, 187, 79–106. Codillo et al., 2022, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 23, e2021GC010206.

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ ECS

[T4-P-5] In-situ oxygen isotope analysis of serpentine from the lower crust to the upper mantle sections of the Oman Ophiolite

*Kazuki YOSHIDA¹, Maria Rosa Scicchitano², Atsushi Okamoto³ (1. High Energy Accelerator Research Organization, 2. GFZ Potsdam, 3. Tohoku Univ.)

Keywords : Serpentine、Serpentinization、Oxygen isotope、Oman Ophiolite、Water-rock reaction

下部地殻やマントル岩石に含まれるかんらん石や輝石と水の反応（蛇紋岩化反応）は海洋底や沈み込み帯における水と物質移動において重要な役割を果たしている。しかしながら、海洋底の下部地殻や上部マントルにおける蛇紋岩化の条件や温度は十分に解明されていない。世界最大級のオフィオライトであるオマーンオフィオライトは、海洋リソスフェアの下部地殻から上部マントルにおける岩石-水相互作用の遍歴を詳細に調べる機会を提供している。その一方で、オマーンオフィオライトの蛇紋岩化反応は、様々なテクトニックセッティング（海洋底・沈み込み帯・大陸）において、異なる流体（海水・沈み込み変成流体・雨水）や温度条件で複数の段階で生じていると考えられているが、その詳細は明らかではない。本研究では、オマーンオフィオライトにおける蛇紋岩化ステージと流体の起源を明らかにすることを目的として、2次イオン質量分析（SIMS）を用いて蛇紋石の局所酸素同位体分析を行った。分析試料はOman Drilling Project CMサイトの斑れい岩（1試料）・ダナイト（2試料）・ハルツバージャイト（2試料）と、オマーンオフィオライト北部岩体のHilti massifのハルツバージャイトから採取した蛇紋岩脈（1試料）の合計6試料である。各試料の異なる組織の蛇紋石について合計179点の酸素同位体をSIMSで分析した。試料と一緒にマウントされた標準試料（UWSrp-1）の再現性は $\pm 0.20\text{‰}$ （1 σ ）であり、インクルージョンや空隙が確認された測定点については議論から除外した。蛇紋石は組織の違いによって異なる酸素同位体比を示した。斑れい岩にみられるメッシュリムの $\delta^{18}\text{O}$ は2.9-3.8 ‰であり、メッシュコア（ $\delta^{18}\text{O} = 6.6\text{-}6.9\text{‰}$ ）よりも低い $\delta^{18}\text{O}$ を示した。このことは、メッシュリムの蛇紋岩化のあとにメッシュコアがより低温で蛇紋岩化したことを示唆する。ハルツバージャイトのメッシュリムの $\delta^{18}\text{O}$ は3.7-5.3 ‰であり、斑れい岩よりも高い酸素同位体比を示す。直方輝石が蛇紋岩化した場所の $\delta^{18}\text{O}$ は4.1-5.2 ‰であり、かんらん石が蛇紋岩化した場所と大きな違いはなかった。ダナイトのメッシュ組織はマグネタイトのインクルージョンの存在により酸素同位体比を正しく測定することができなかった。ダナイトおよびハルツバージャイトのメッシュ組織は後のステージで形成されたと考えられるアンチゴライト±クリソタイル脈によって切られている。これらのアンチゴライト±クリソタイル脈の酸素同位体比は、北部岩体の試料を除いて、メッシュ組織およびバスタイトよりも低い $\delta^{18}\text{O}$ を示した

（ $\delta^{18}\text{O}=0.1\text{-}3.1\text{‰}$ ）。アンチゴライト±クリソタイル脈中のアンチゴライトとクリソタイルの $\delta^{18}\text{O}$ はそれぞれ0.1-2.6 ‰および0.8-3.1 ‰で、クリソタイルの分析誤差の範囲内（ $\sim 1\text{‰}$ ）で一致した。このことは、クリソタイルがアンチゴライトと同程度の比較的高温で形成したことを示唆しており、クリソタイルが蛇紋石の準安定相であるという仮説を支持

する(Evans, 2004)。海水 ($\delta^{18}\text{O}=0\text{‰}$) を仮定すると、メッシュ組織の蛇紋岩化温度として $182\pm 38^\circ\text{C}$ 、アンチゴライト±クリソタイル脈の形成温度として $236\pm 35^\circ\text{C}$ が得られた。ただし、アンチゴライト±クリソタイル脈を形成した流体は沈み込み起源の可能性があるため、ここで見積もられる温度は最低温度である。このことは、メッシュ組織よりも高温でアンチゴライト±クリソタイル脈が形成されたことを示唆する。これらの結果は、オマーンオフィオライトの地殻マントル境界から上部マントルは比較的低温の蛇紋岩化の後に、より高温の流体イベントを経験していることを示唆する。

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 🏛️
 T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ entry ◆ ECS

[T4-P-6] Estimating strain rates and shear stresses along subduction zone plate boundaries: Insights from quartz deformation mechanisms and rheological properties

*Shota Komagino¹, Kohtaro Ujiie¹, Thomas Yeo¹, Norio Shigematsu² (1. University of Tsukuba, 2. AIST)

Keywords : quartz、dynamic recrystallization、rheology、deep slow slip、EBSD

Quantitative estimation of strain rates and shear stresses along the subduction mélange is key to understanding the diverse slip behavior of megathrusts. We investigated the subduction mélange in western Kyusyu, Japan, which was deformed at 500 °C and 1.1 GPa under epidote-blueschist facies metamorphic conditions. Within the mélange, viscous shear is localized along multiple chlorite-actinolite schist (CAS) layers intercalated with metabasite and metasediments. The CAS layers exhibit composite planar fabrics and consistently show shear indicators aligned with megathrust movement. In the northern segment of the mélange, the contact between metapelite and CAS layers underwent albite metasomatism, supplying fluids to the CAS. Microscopic observations and electron backscatter diffraction analysis of quartz veins in both the CAS and surrounding rocks revealed spatial variations in quartz microstructures. In the northern segment, quartz in CAS layers show dynamic recrystallization by subgrain rotation, whereas in the southern segment, both subgrain rotation and grain boundary migration recrystallization are observed. Quartz in the surrounding rocks is mainly recrystallized via grain boundary migration, with occasional subgrain rotation. Rheological analysis using a quartz paleo-piezometer and flow law suggests that CAS in the northern segment experienced shear stresses of 41–52 MPa and strain rates of $2.5\text{--}6.8 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$. In contrast, the southern CAS experienced lower shear stresses of 22–27 MPa and strain rates of $2.0\text{--}4.6 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$, values that are comparable to those of surrounding rocks (22–25 MPa, $2.2\text{--}3.6 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$, respectively). Notably, the higher strain rates and shear stresses estimated from the northern CAS coincide with the region where metasomatic dehydration is prominent. This suggests that stress amplification may result from elevated strain rates associated with metasomatic dehydration-enhanced viscous shear.

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ entry

[T4-P-7] Transition of deformation mechanisms in chlorite-actinolite schist depending on actinolite grain size

*Kotaro KUBOTA¹, Ken-ichi HIRAUCHI¹, Thomas YEO² (1. Department of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University, 2. University of Tsukuba)

Keywords : Actinolite、dislocation creep、dissolution-precipitation creep、Nagasaki metamorphic rocks、subduction zone

沈み込み帯の浅部スラブ-マントル境界域のレオロジー的性質を調べることは、プレート境界における粘性デカップリングの程度やスロースリップに代表される深部スロー地震の発生機構を理解する上で重要である(Tarling et al 2019; Tulley et al., 2022; Nishiyama et al., 2023). Nishiyama et al. (2023)は長崎県西彼杵変成岩類の三重メランジュにおいて緑泥石-アクチノ閃石片岩(chlorite-actinolite schist; CAS)からなる剪断帯を報告し、マントルウェッジ起源の蛇紋岩と沈み込んだ海洋地殻起源の塩基性片岩との間の交代作用の結果形成されたことを明らかにした。さらに、CAS中のアクチノ閃石には化学的ゾーニングやゾーニングを切る構造(truncation)が認められることから、CASの主要な変形機構が溶解-沈殿クリープであったと結論付けている。しかし、CASの変形機構を明らかにするための構造岩石学的研究は、西彼杵変成岩類のCASを除いてほとんど行われていない。そこで本研究では、長崎県野母変成岩類に分布するCASを研究対象として、微細構造解析を行った。

野母変成岩類の川原木場には、蛇紋岩と塩基性片岩の岩相境界に沿って超塩基性メランジュが数mから数10 mの幅にわたって分布する(西山ほか, 1997)。CASは超塩基性メランジュに発達する片理と平行な開口割れ目を充填する形で産する。微細構造観察の結果、CASは主に緑泥石とアクチノ閃石で構成されることがわかった。緑泥石は顕微鏡下で針状の細粒子からなり、綾織状組織で構成されるレンズ状部、あるいは形態定向配列した片状部として存在するほか、アパタイトやアクチノ閃石から歪シャドウとして析出している。アクチノ閃石は顕微鏡下で針状または長柱状をなし、幅広い粒径分布を示す。本研究では、粒径50 μm以上を粗粒粒子、粒径50 μm未満を細粒粒子と定義した。やや不規則に配列する粗粒粒子には顕著な波動消光が認められるのに対し、細粒粒子には強い形態定向配列が認められる。細粒粒子からなる領域について、電子後方散乱回折法を用いた結晶方位解析を行った結果、[100]軸が片理面に垂直な方向に、[010]軸が片理面に平行で線構造に垂直な方向に、[001]軸が線構造に平行な方向に配向する顕著な結晶方位定向配列(CPO)が認められた。逆極点図方位マップを見ると、比較的粗粒な粒子(粒径10~50 μm)を中心として波動消光や亜粒界が存在する。そして粒径範囲2.3~50 μmにおいて、粒径が小さくなるにつれてファブリック強度および結晶内方位差の程度を示す指標であるGOS(Grain Orientation Spread)が低くなり、かつ隣接粒子間の差方位角が低角な粒子ペアが少なくなる特徴がみられた。また、細粒アクチノ閃石についてエネルギー分散型X線分析法を用いた元素マッピングを行った結果、粒子の長軸に沿ったアルミニウムのゾーニングが認められた。

以上の微細構造観察結果から、CAS中のアクチノ閃石の支配的な変形機構の遷移について、以下のようなシナリオを提案する。まず、粗粒粒子では転位クリープが支配的な変形機構と

して作用していたと考えられる。その後、亜粒界回転による動的再結晶により粒径減少が起こるにつれて、転位クリープの影響が少なくなり、流体存在下において粒径に敏感な溶解-析出クリープが支配的な変形機構として作用するようになったと考えられる。また、細粒粒子集合体に認められる形態定向配列は、細粒粒子の析出時において、より結晶成長速度が大きい長軸方向である[001]軸方向に成長したことを反映していると考えられる。このようなアクチノ閃石の粒径に依存した変形機構の遷移は、変形の進行に伴うCASの強度低下を引き起こすと予想され、メランジュ内での変形がCASに集中し、CASがプレート境界における粘性デカップリングや深部スロー地震を引き起こす要因として機能する可能性を示唆する (Nishiyama et al., 2023).

引用文献：Tarling et al. (2019), *Nature Geoscience*, 12, **1034-1042**. Tulley et al. (2022), *Geophysical Research Letters*, **49**, e2022GL098945. Nishiyama et al. (2023), *Lithos*, **446-447**, 107115. Lee et al. (2022), *Journal of Structural Geology*, **155**, 104505, 西山ほか(1997), 日本地質学会104年学術大会見学旅行案内書, **131-162**.

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 🏛️
 T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ entry ◆ ECS

[T4-P-8] Structural Characteristics and Tectonic Setting of a Crustal Scale Shear Zone: The Gadag–Mandya Shear Zone, Dharwar Craton, India

*Manato Urakawa¹, Lakshmanan Sreehari¹, Yoshihiro Nakamura² (1. Shimane Univ., 2. AIST)
 Keywords : Ductile deformation、Shear zone、Microstructure、Mylonite、EBSD

The Dharwar Craton, a Meso- to Neoarchean terrane (ca. 3500-2500 Ma) in southern India, comprises the Western (WDC), Central (CDC), and Eastern (EDC) Dharwar Cratons. The Gadag-Mandya Shear Zone (GMSZ), a >300 km long N-S to NW-SE trending structure, marks the boundary between the WDC and CDC. Transecting greenschist facies rocks in the north and granulite facies in the south, the GMSZ offers a rare opportunity to examine ductile deformation across crustal levels from the upper to lower crust. Despite its tectonic significance, detailed investigations of the internal architecture and deformation conditions of the GMSZ remain limited. This study integrates field observations, petrography, EBSD analysis, and fractal dimension measurements to characterize its deformation history and tectonic setting.

Microstructural and analytical data along the GMSZ reveal a systematic southward increase in deformation temperature and crustal depth. In the northern zone, quartz shows ribbon structures, chessboard extinction, myrmekite, and grain boundary migration (GBM) recrystallization, consistent with high-temperature deformation. EBSD c-axis pole figures exhibit type-II crossed girdle patterns, indicating dominant prism-a slip system at temperatures of ~600-650 °C. Fractal dimension (D) values are relatively low (1.12-1.14), supporting high-T deformation, likely synmagmatic.

The central zone is characterized by quartz-rich mylonites with well-developed S-C and C' fabrics, dominated by bulging (BLG) and subgrain rotation (SGR) recrystallization, indicating deformation at ~300-500 °C (Stipp et al., 2002). EBSD data show type-I crossed girdle patterns and continued dominance of prism-a slip system. D-values range from 1.12 to 1.19, suggesting temperatures up to ~650 °C. The presence of muscovite along foliation and minor biotite suggests syn-deformational hydration.

In the southern zone, high-grade shear zones host aligned amphibole and occasional orthopyroxene, with cm-scale shear zones and melt pockets observed in granulites. Ultramylonites occur along the margins of km-scale granitic plutons. Quartz microstructures display GBM and SGR features, with recrystallized feldspar and myrmekite suggesting deformation at ~700 °C. Low D-values (1.05-1.07) support high-T conditions; however, EBSD data indicate basal-a slip system, possibly reflecting overprinting by a later, lower-T deformation. Overprinting of amphibole by muscovite and biotite suggests hydration during this late-stage event.

These results highlight the progressive transition of the GMSZ from upper- to lower-crustal conditions. The shear zone width increases from a few centimeters in the north to

several kilometers in the south, reflecting crustal-scale strain localization. Shear zones are commonly localized along granitic pluton margins, and in the southern granulite facies zone, melt infiltration along shear planes suggests a key role in magma ascent and granulitization, potentially contributing to cratonization of the Dharwar Craton.

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ entry ◆ ECS

[T4-P-9] Re-examination of the mylonitization of plagioclase lherzolite in the Uenzaru peridotite complex, Hidaka Metamorphic Belt, Hokkaido

*So INOUE¹, Katsuyoshi MICHIBAYASHI¹ (1. Department of Earth and Planetary Sciences, GSES, Nagoya University)

Keywords : Uenzaru peridotite complex、Hidaka metamorphic belt、peridotite、mylonite、phase transformation

北海道中央部日高変成帯北部の日高主衝上断層沿いに位置するウエンザルカンラン複合岩体には、マイロナイト化した斜長石レルゾライトが含まれる。本地域の斜長石レルゾライトは蛇紋岩化作用が弱く、カンラン石や輝石など上部マントルの初生鉱物が残存する。このかんらん岩マイロナイトは、スピネルレルゾライトから斜長石レルゾライトへのサブソリダス反応によって生成した結晶粒子に歪が局所化し、塑性剪断変形が促進されて形成したと解釈された^[1]。本研究では、偏光顕微鏡と走査型電子顕微鏡を用いて定量的な微細構造観察と結晶方位解析を行い、斜長石レルゾライトのマイロナイト化作用を再検討した。

本研究では、先行研究^[1]で解析された斜長石レルゾライト1試料の研磨薄片を詳細に再分析した。研磨薄片は、面構造に垂直、線構造に平行な面(XZ面)で作成されたものである。マイロナイト化した斜長石レルゾライトの組織は、比較的粗粒なカンラン石(> 650 μm)や非常に伸長した直方輝石(約15 mm)、単斜輝石、スピネルの残晶(ポーフィロクラスト)とカンラン石、直方輝石、単斜輝石、斜長石、スピネル、角閃石の細粒基質からなるポーフィロクラスト状組織を示した。SEM-EBSD法による結晶方位マップの結果から含水鉱物である角閃石のモード比は約3%であった。また、直方輝石とスピネルの残晶間には、カンラン石と斜長石からなるバーミキュラー状のシンプレクタイトが観察された。さらに、斜長石は、スピネル残晶の周縁部を取り囲む組織を示した。スピネルの残晶には延性(塑性)ブーディングが発達し、そのネッキング部に応力が集中して動的再結晶作用によって細粒化した組織を示すことが確認された。カンラン石の結晶方位解析からは全体に集中は弱い{0kl}[100]すべりが優勢の結晶方位定向配列を示した。以上の結果を基にして、本研究ではマイロナイト化した斜長石レルゾライトの微細構造発達過程を議論する。

[1] Furusho & Kanagawa 1999 Tectonophysics.

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ entry

[T4-P-10] Effect of water injection on effective normal stress on friction behavior

*Riku IWATA^{1,2}, Manami KITAMURA², Michiyo SAWAI³, Shinichi UEHARA¹ (1. Toho University, 2. GSJ,AIST, 3. Chiba University)

Keywords : Injection-induced earthquake、friction behavior、Laboratory experiment

地熱開発などに伴う地下深部への流体圧入による間隙水圧の増加は既存断層の地震性すべりを引き起こすリスクをはらむと考えられている (Ellsworth, 2013)。断層面の間隙水圧が増加すると有効法線応力が低下し、せん断強度が減少するため、断層面はすべりやすくなる。したがって、断層面の有効法線応力の分布はせん断強度の分布に直接的に関係するため、注水誘発地震の発生に影響を及ぼすと考えられる。断層面上の有効法線応力の分布は、流体注入速度や流体注入時の流体圧の加圧速度 (間隙水圧加圧速度)、断層面沿いや断層周辺の透水性に依存することが予想される。そのため、有効法線応力の分布に大きく寄与するパラメータを特定し、注水による有効法線応力の変化が断層すべり特性に与える影響を解明することは、注水誘発地震のリスク評価に役立つと期待できる。そこで本研究では、室内注水実験を行い、摩擦面粗さ、および熱クラックの有無に着目し、注水時の有効法線応力の変化が摩擦挙動に与える影響を明らかにすることを目的とする。本研究では、油圧式三軸圧縮試験機 (東邦大学設置と産業技術総合研究所設置) を用いて、2通りの室内注水実験を行った。1つ目 (シリーズA) では主に摩擦面粗さとに着目し、2つ目 (シリーズB) では主に熱クラックの有無による断層運動の違いに着目した。共通して、実験ではまず封圧・初期間隙水圧一定で軸変位載荷を行い、スティック-スリップが生じた後に軸載荷を止めて上流側から間隙水圧を上昇させた。有効法線応力を算出する際の間隙水圧は、試料の上流側間隙水圧と下流側間隙水圧の平均を用いた。シリーズAでは、実験試料には直径 40 mm、長さ 80 mm の円柱形庵治花崗岩について、軸方向に 30° 摩擦面を有する試料を用いた。摩擦面に間隙水を直接供給するために、直径 2.5 mm の穴を設けた。また、摩擦面を #80 (平均粒径約 200 μm)、#3000 (平均粒径約 4 μm) の 2 つの異なる粗さの耐水研磨紙及びカーボン・アランダムで研磨した。主な実験条件は封圧 60 MPa (一定)、初期間隙水圧 0.1 MPa、軸載荷速度 1.7 $\mu\text{m}/\text{sec}$ とした。また、軸変位一定制御条件下にて、一定 (0.1 MPa/min または 1.0 MPa/min) で試料上流側から間隙水圧を連続的に上昇させた。下流側はバルブを閉じて、下流側間隙水圧計で間隙水圧を測定した。シリーズBでは、実験試料には直径 50 mm、長さ 120 mm の円柱形稲田花崗岩について、軸方向に 30° の摩擦面を有する試料を用いた。シリーズBでは試料上面から摩擦面に通ずる穴は設けず、インタクト試料、150°C 熱処理試料、300°C 熱処理試料、450°C 熱処理試料について、#80 (平均粒径約 200 μm) の耐水研磨紙で摩擦面を研磨した。主な実験条件は封圧約 33 MPa (一定)、下流側間隙水圧 2.0 MPa (一定)、軸変位速度 3 $\mu\text{m}/\text{sec}$ とした。また、変位一定制御と応力一定制御条件下にて、注水速度 0.05 ml/min で上流側間隙水圧を約 2.0 MPa から 30.0 MPa まで段階的に上昇させた。注水前の軸変位によるスティック-スリップの最大せん断応力から求めた各実験の摩擦係数は、庵治花崗岩 (シリーズA) では 0.39~0.48 であり、稲田花崗岩 (シリーズB) では

0.43~0.50となった。応力降下直前の有効法線応力とせん断応力の関係は、摩擦面粗さ、母岩の透水性に依存せず、正の相関が見られた。シリーズAでは、応力降下直前の有効法線応力が 54.0 MPa から 76.6 MPa まで増加し、せん断応力が 22.3 MPa から 38.3 MPa まで増加した。またシリーズBでは、応力降下直前の有効法線応力が 22.6 MPa から 46.0 MPa まで増加し、せん断応力が 9.0 MPa から 29.3 MPa まで増加した。次に、応力降下直前の有効法線応力とせん断応力降下量の関係は、摩擦面粗さにより異なる傾向が見られた。#80試料では有効法線応力が増加するにつれて、せん断応力降下量が増加する傾向が見られた。一方、#3000試料では明瞭な傾向は見られなかった。最後に、注水時のせん断応力降下量を応力降下にかかった時間で割ったパラメータである応力降下速度では、39 MPa/s 以上の急激な応力降下と 1 MPa/s 以下の緩やかな応力降下の2パターンが見られた。急激な応力降下では有効法線応力の増加に伴って速くなる傾向が見られた。一方、緩やかな応力降下は有効法線応力との明瞭な関係は見られなかった。参考文献 Ellsworth (2013) *Science*, 341(6142).

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

[T4-P-11] Microstructural analysis in the Nadagawa Fault (subsidiary fault) slipped during the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake

*Kotaro Aiyama¹, Masaki Suehiro², Kazunari Kimura³ (1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Hanshin consultants Co., Ltd., 3. K-geo)

Keywords : subsidiary fault、fault gouge、Microstructural analysis、Nadagawa Fault、layered structure、gouge fragment

主断層の活動に伴い、副次断層が活動する場合は多々存在する。例えば、2014年長野県北部の地震では、主断層である神城断層だけでなく、副次断層も地表地震断層として出現した。相山・上田（2023）は、この地震で出現した副次断層の断層ガウジで微細構造解析を実施し、国内外の主要な活断層に見られる層状構造やガウジ破片を確認している。なお、第四紀以降に活動した活動的な副次断層を調査した既往文献のうち、微細構造解析に焦点を当てたものは、私の知る限り相山・上田（2023）のみである。しかし、もし第四紀以降に活動した複数の副次断層に共通の微細構造を発見できれば、活動的な副次断層を探索・認定する際の一助になるかもしれない。

1995年兵庫県南部地震では、主断層である野島断層に沿うNE-SW走向・長さ約10 kmの地表地震断層に加え、野島断層から約4 km東に離れた淡路島東岸でNE-SW走向・長さ約1.6 kmの地表地震断層（灘川断層）が出現した。灘川断層は、東側隆起成分と右横ずれ変位成分からなる運動センスを示し、野島断層沿いの地表地震断層に比べ、その変位量が非常に小さかったことなどから、副次断層であるとされている（岡田，1996；岡田ほか，1998）。本研究では、活動的な副次断層に共通の微細構造を発見するために、灘川断層北東端で掘削したトレンチの壁面を観察した後、偏光顕微鏡観察やSTEM観察等からなる微細構造解析を実施した。なお、以下ではトレンチ壁面観察と偏光顕微鏡観察についてのみ記述するが、発表当日はその他の実施項目についても報告する。

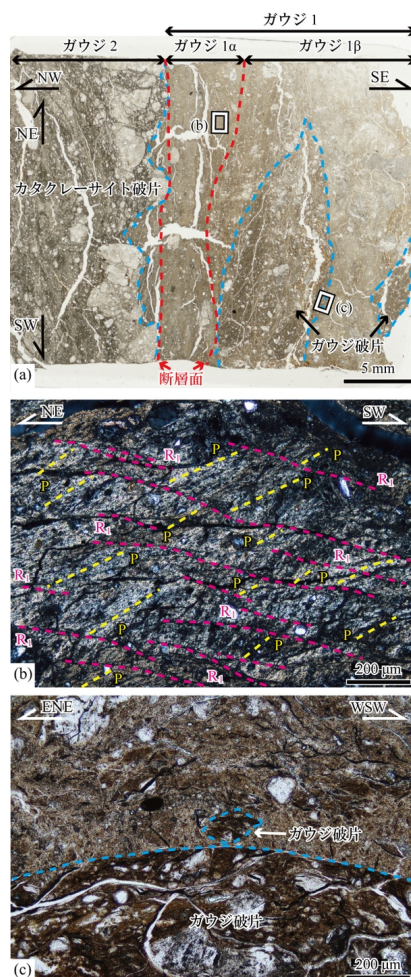
トレンチ壁面観察：盛土等の人工物の直下に、花崗岩と花崗閃緑岩からなる基盤岩が分布し、花崗岩中に幅約1 mの破碎帯が発達していた。この破碎帯を構成する断層ガウジは2枚のガウジゾーン（ガウジ1および2）からなる層状構造を有する。ガウジ1は非常に軟質である。幅は1～15 cmであり、後述の最新滑り面に沿って連続する。主に淡緑色がかった灰色と灰白色の部分からなり、最新滑り面に接する幅数mmのゾーンでは灰白色主体となる。ガウジ2は軟質であるが、ガウジ1より締まっている。幅は4～10 cmであり、最新滑り面に沿って分布するが、連続性に乏しく、壁面途中で途切れる。灰白色を呈し、健岩（花崗岩）やカタクレサイトを多く取り込む。ガウジ1とガウジ2との境界は、非常に直線性・剥離性の良い断層面であり、水をかけただけで両ガウジゾーンが断層面を境にペラペラと剥がれる。この断層面は、N42～56°E・76S～85°Nの走向・傾斜を示し、灘川断層と同走向であることから、1995年に活動した最新滑り面（灘川断層）であると判断される。面上にはレイク角が18～24° NEの条線が発達する。

偏光顕微鏡観察：最新滑り面を含む試料を採取し、最新滑り面に直交で、条線（レイク角20° NE）に平行な面を持つ薄片を作成した。薄片内にはガウジ1および2と、2条の断層面が認められた（図1a）。トレンチ調査で確認された最新滑り面はガウジ1とガウジ2を分けてい

るため、2条の断層面のうち北西側の断層面がトレンチ調査で認めた最新滑り面に対応する。また、南東側の断層面は、最新滑り面より湾曲し、ガウジ1をガウジ1αとガウジ1βに分ける。ガウジ1αは粘土鉱物に富み、東側隆起成分を伴う右横ずれセンスを示すP面やR₁面などの複合面構造が顕著に発達する（図1b）。この運動センスは兵庫県南部地震時のそれと整合する。ガウジ1βは、ガウジ1αより粘土鉱物が少なく、東側隆起成分を伴う右横ずれセンスを示す複合面構造が軽微に発達する。また、ガウジ1αと異なり、ガウジ破片を含む（図1c）。

トレンチ壁面観察と偏光顕微鏡観察の結果、国内外の主要な活断層や神城断層の副次断層と同様に、断層ガウジの層状構造とガウジ破片が認められた。これらの構造は地殻浅部での繰り返し剪断運動を示すため（例えば、相山ほか，2017），断層ガウジの層状構造やガウジ破片を持たないものは地殻浅部で繰り返し活動していない非活動的な断層であると考えられる（相山・金折，2024）。つまり、地殻浅部での繰り返し剪断運動を示す構造は、第四紀以降活動した活動的な主断層や副次断層が持つべき構造であると考えられる。しかし、地殻浅部で繰り返し活動していたものの、第四紀以降に活動を停止した断層もこれらの構造を持つ可能性があるため、注意が必要である。

引用文献 1) 相山・金折，2024，地質雑，**130**，119-138. 2) 相山ほか，2017，応用地質，**58**，2-18. 3) 相山・上田，2023，応用地質，**64**，15-27. 4) 岡田，1996，兵庫県南部地震と地形災害，28-63. 5) 岡田ほか，1998，人と自然，**9**，33-5.



📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

[T4-P-12] Rock Frictional Properties and Rupture Arrest Mechanisms at the Kumamoto Earthquake Termination: An Experimental Study

Kazuo Mizoguchi¹, *Takahiro Iida², Tomonori Taniguchi², Sachiko Iizuka² (1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. CERES)

Keywords : Kumamoto Earthquake、Rock Frictional Properties、Rupture Arrest Mechanisms

はじめに2016年熊本地震では、布田川断層系のほぼ全域と日奈久断層系北部約5kmの区間で地表地震断層が出現した (Shirahara et al., 2016)。この地震における破壊伝播の北東端部については、阿蘇カルデラ下の高温領域が破壊進展を妨げたとする研究がある (Yue et al., 2017)。一方、南西方向への破壊が日奈久断層北部で終息した要因については、Aoyagi et al.(2020)が地震波速度構造との関連を指摘しているが、決定的な解明には至っていない。さらに、この破壊終端域では地震後に大規模な余効変動が観測されており (Hashimoto, 2020; 遠田ほか, 2021)、この領域の断層岩が特異な力学特性を有することを示唆している。本研究では、熊本地震の破壊終端部周辺から採取した岩石試料の摩擦実験を通じて、地震時の断層挙動を支配する要因を明らかにすることを目的とした。実験手法本研究では、熊本地震の南西破壊限界付近に分布し、地殻上部の地震発生層の基盤を構成する以下の岩石試料を採取した：(1)肥後変成帯の白亜紀前期変成砂岩、(2)間の谷変成帯の三畳紀～ジュラ紀緑色片岩および泥質片岩、(3)肥後深成岩体の白亜紀前期花崗閃緑岩。これらの岩石を粉碎・篩分けし、粒径100μm以下の粉末を模擬ガウジとして使用した。実験には二軸せん断試験装置を用い、金属ブロック (50×50×80mm、中央部は100mm) を3段に配置し、接触面 (50×80mm) に厚さ3mmのガウジ層を挟んだ。ブロック表面には1mm間隔の溝 (深さ0.1mm) を設け、ガウジ内部での変形を促進させた。垂直応力40MPa一定条件下で、中央ブロックをせん断変位させ、速度・状態依存性摩擦則に基づく摩擦係数の速度依存性パラメータ ($a-b = \Delta \mu_{ss} / \Delta \ln(V)$) を測定した。せん断速度は0.3～100μm/sの範囲で段階的に変化させ、各速度での定常摩擦を確認後、速度ステップ試験を3サイクル実施した。試料は室温・湿潤条件で実験を行った。実験結果と考察実験の結果、全試料で初期の静摩擦ピーク後、変位量3mm付近で定常状態に遷移することが確認された。変位量14mm時点での定常摩擦係数は、緑色片岩 (0.620)、泥質片岩 (0.612)、花崗閃緑岩 (0.607)、変成砂岩 (0.601) の順となった。摩擦パラメータa-bは、全試料において変位量の増加とともに減少する傾向を示した。変位量10mm以降では、花崗閃緑岩のa-b値は一貫して負値 (速度弱化) を示し、地震性すべりを生じやすい特性を持つことが判明した。対照的に、間の谷変成帯の岩石 (緑色片岩および泥質片岩) と変成砂岩は-0.001～0.0005の範囲でa-b値が変動し、条件によっては正值 (速度強化) となることが確認された。特に、泥質片岩においてすべり速度の増加に伴いa-b値が負から正へと系統的に変化した。この速度強化特性は、地震破壊時の断層すべり加速に対して摩擦強度が増加することを意味し、破壊伝播に対するブレーキとして機能する (Scholz, 1998)。これらの結果は、熊本地震の破壊が日奈久断層北部で停止した要因として、間の谷変成帯の岩石、特に泥質片岩が持つ速度強化的な摩擦特性が、動的破壊の進展を抑制するバリアーとして働いた可能性を強く示唆している。この地域で観測された顕著な余効すべりも、このような摩擦特性によって説明可能である。ただし、

実際の断層帯は高間隙水圧下にあることから、今後は水飽和条件での系統的な実験を実施し、より現実的な地下環境での摩擦特性を評価する必要がある。

文献

Aoyagi, Y., Kimura, H., & Mizoguchi, K. (2020). *Earth, Planets and Space*, 72, 1-14. Hashimoto, M. (2020). *Earth, Planets and Space*, 72, 1-27. Scholz, C. H. (1998). *Nature*, 391(6662), 37-42. Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y., Maruyama, T., Azuma, T., Miyashita, Y., ... & Miyakawa, A. (2016). *Earth, Planets and Space*, 68(1), 1-12. 遠田晋次, 鳥井真之, 小俣雅志, 三五大輔, & 石澤堯史. (2021). *活断層研究*, 2021(54), 39-56. Yue, H., Ross, Z. E., Liang, C., Michel, S., Fattahi, H., Fielding, E., ... & Jia, B. (2017). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(11), 9166-9183.

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ entry ◆ ECS

[T4-P-13] Petrology of mafic and felsic volcanoes from Southern Rukyu Arc and Okinawa Trough

*Naoki UZAWA¹, Yuji ICHIIYAMA¹, Ayanori MISAWA², Osamu ISHIZUKA² (1. Chiba Univ., 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

Keywords : Okinawa Trough、Ryukyu Arc

西南日本には、フィリピン海プレートの沈み込みにより琉球弧が形成されており、その背後には、背弧海盆である沖縄トラフが形成されている。沖縄トラフは、海底拡大が始まる前の活動的な背弧海盆の希少な例として、火成岩類の岩石学的理解を深めることは、島弧-背弧海盆系の形成過程を理解する上で非常に重要である。琉球弧-沖縄トラフはトカラ海峡および慶良間海裂で北部、中部、南部の3つの領域に分けられる [1]。北部から中部では玄武岩質安山岩～安山岩質の火山フロントを形成しており [2]、北部の背弧側では安山岩～デイサイト質の、中部の背弧側では玄武岩質と珧長質の火成活動が報告されている [3-5]。南部では陸上火山島は存在せず、火山フロントの位置が不明瞭であるが、珧長質および苦鉄質岩が海底火山から採取されている。南部琉球弧-背弧リフトでは未だ火成プロセスに関する研究が少ないものの、背弧リフト（八重山地溝帯）内の玄武岩のうち、東縁に位置する伊良部海丘の玄武岩は、同じ地溝帯内の他の場所と比較してスラブ蛇紋岩や変質した海洋地殻由来の流体の寄与が特に強い可能性が指摘されている [6]。伊良部海丘は、地溝帯内に形成された玄武岩質火山であるが、火山フロントに近く、マントルへの流体流入量が高いため、島弧火山岩の特徴を持つと考えられる。また、南部琉球弧では珧長質火山岩が得られているが、岩石学的性質について検討された例は少なく、その特徴や成因については不明な点が多い。本研究では、伊良部海丘の玄武岩質火山岩の岩石学的な特徴づけを行い、北部琉球弧に産する苦鉄質火山岩との比較を行った。また、南部琉球弧の珧長質岩と伊豆・マリアナ弧や東北日本弧で見られる珧長質岩を比較検討し、南部琉球弧-沖縄トラフの火成活動を包括的に解明することを目的とする。

本研究では、「しんかい 2000」および「ハイパードルフィン」によって南部琉球弧-沖縄トラフの第2小浜海丘、鳩間海丘、第4与那国海丘、伊良部海丘、石垣グラーベン（航海番号：KY14-02、KS-24-1、N96-07、NT09-10_leg2、NT11-17、NT11-20、NT13-25、YK00-06_leg2）から採取された珧長質および苦鉄質岩の試料を用いた。伊良部海丘の苦鉄質岩はかんらん石、単斜輝石、斜長石、直方輝石斑晶を含む玄武岩～安山岩で、鏡下観察により上記の順で斑晶鉱物が結晶化したと考えられる。伊良部海丘の苦鉄質岩の全岩化学組成は、北部および中部琉球弧に産する苦鉄質岩のトレンドと重なる、島弧ソレアイト的な分化トレンドを示し、中部沖縄トラフのトレンドとは異なる。共存するかんらん石斑晶のFo値（67-85）と斜長石斑晶のAn値（61-91）は、島弧火成岩の組成トレンドと一致し、島弧火成岩とMORBの中間的なトレンドを示す中部沖縄トラフとは異なる。また、伊良部海丘の単斜輝石斑晶には、極めてMgに富み（Mg# = 0.93-0.96）、TiO₂に乏しい（<0.2 wt.%）単斜輝石が包有され、枯渇したMgに富むマグマの関与が暗示される。北部および中部琉球弧に産する苦鉄質岩と比較すると、伊良部海丘の苦鉄質岩のLILE/HFSE比は同等の値を示し、北

部～中部琉球弧マントルと同様の流体流入の関与が示唆される。南部琉球弧に産する珪長質岩はデイサイトから流紋岩質で、斜長石、角閃石、石英、不透明鉱物の斑晶が見られ、稀に斜長石、角閃石、単斜輝石、不透明鉱物の組み合わせからなる苦鉄質深成岩片が観察される。全岩や斜長石の化学組成は採取場所によって不均一であり、単一の苦鉄質マグマからの結晶分別作用によって形成される可能性は低く、地殻の部分溶融で形成された可能性が考えられる。このことは、苦鉄質包有物を含むことから支持される。化学組成の不均質は地殻物質の部分溶融程度の違い、または地殻物質の化学組成の違いに起因していると考えられる。微量元素の特徴は、伊豆・マリアナ弧よりも東北日本弧の珪長質火山岩に類似しており、大陸縁辺部で形成される珪長質火山岩の特徴を示す。

参考文献

- [1] Kizaki, 1986, *Tectonophysics*, 125, 193-207.
- [2] 中野・下司, 2008, 地質調査研究報告, 59, 197-201.
- [3] 松本・松本, 1966, 火山. 第2集, 105-115.
- [4] Shinjo et al., 1999, *J. Geophys. Res.*, 104, 10591-10608. [5] Shinjo and Kato, 2000, *Lithos*, 54, 117-137.
- [6] Zhang et al., 2021, *J. Geophys. Res.*, 126, e2021JB021709

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ ECS

[T4-P-14] Stress state at shallow crust estimated from outcrop-scale faults in the altered dike

*Noriaki Abe^{1,2}, Toru Nakajima^{1,3}, Nariaki Nishiyama¹, Hiroaki Hakoïwa^{1,4}, Takanori Ishihara^{1,5}, Fukuka Kida¹, Yasuhiro Ogita¹, Masakazu Niwa¹ (1. Tono Geoscience Center, Japan Atomic Energy Agency, 2. Research Institute for Geo-Resources and Environment, Geological Survey of Japan, AIST, 3. University of Toyama, 4. OYO Corporation, 5. Chuo-Kaihatsu Corporation)

Keywords : dike、hydrothermal alteration、outcrop-scale fault、stress state

一般に地殻の応力状態は、深度方向に変化することが知られている。しかし、応力状態の推定に地質時代の変形構造を利用する場合、形成深度、すなわち応力が働いた深度に関する情報を得ることが難しい。我々は、鳥取県三朝町において変質岩脈（岩脈A）中に密に発達した露頭規模の断層（小断層）群を見出した。岩脈が変質を被った深度や環境、および変質と小断層形成の前後関係を推定できれば、小断層の形成深度を制約できる可能性がある。そこで、岩脈Aおよび近隣の比較的堅固な岩脈（岩脈B）について、XRFによる元素組成分析、XRDによる鉱物学的分析、EPMAによる組成像撮影を行い、岩脈Aの変質環境、および小断層の形成環境を推定した。また、岩脈A中および母岩に発達した小断層について、それぞれ応力逆解析を行い、岩脈A中の小断層の形成機構や母岩との違いを検討した。

岩脈Aは花崗岩に貫入し、黄褐色の粘土状に著しく変質・風化している。幅は約80 cm、南北走向で概ね鉛直に貫入する。顕微鏡下では、微細な斜長石や火山ガラスが識別され、斑状組織様の内部構造を有しており、著しく変質した火山岩であることが分かるが、より詳細に岩種を同定できるような鉱物や初生的な内部組織は観察できなかった。岩脈A内部には厚さ1 mm未満の面状の黒色脈が、数cmから十数cmの間隔で網目状に発達する。多くの黒色脈の面上には条線が見られ、容易に小断層を識別できる。岩脈Bは岩脈Aと同様に花崗岩に貫入しており、黒色で比較的堅固である。石基をなす斜長石結晶が比較的大きく、粗粒なインターサータル組織をなす、直方輝石単斜輝石安山岩である。斜長石は一部変質を受けている、または汚濁帯を形成している。

HFS元素を用いた化学組成の判別によって、岩脈A、Bは同様の化学組成を持つマグマ起源であると推定された。変質・風化指数によると、岩脈Aが相対的に強く風化・変質を受けていると判断される。岩脈Bを源岩、岩脈Aを変質・風化後の岩石であると仮定してアイソコン解析を行ったところ、変質過程でMgO、Cr、Ni、Pbが増加し、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅、Rb、Srが減少したことが分かった。CaO、Na₂O、K₂Oの減少は、斜長石や火山ガラスの加水分解による粘土鉱物の生成過程における溶脱で説明できる。XRD分析の結果、岩脈Aにのみハロイサイトが生成していることが分かった。ハロイサイトは、熱水変質作用や地表における風化作用で生成されることが知られている。岩脈A中の黒色脈について組成像観察を行った結果、Mnなどの重元素が濃集した、厚さ数〜数十μmの脈状の領域（重元素濃集部）が黒色脈内部に存在することが分かった。Mnは熱水中に溶存しやすいことが知られており、酸化的な環境において沈殿しやすい特徴を持つ。また、重元素濃集部の幾何学形態は、これらの元素が

剪断変形と同時に沈殿したことを示唆する。以上の分析・観察から、局所的に湧出した熱水によって岩脈Aが選択的に変質し、地殻浅部の酸化帯（深度数十～百数十m以浅）において岩脈A中の小断層群が形成されたと考えられる。

岩脈A中の小断層群の応力逆解析によって、応力比が低く現世応力と主軸方位が近い応力（応力 α ）が検出された。多くの小断層はこの応力の σ_3 軸または σ_2 軸に直交する姿勢である。このような小断層の方位分布は、差応力の小さな応力状態下での異常流体圧などに伴う応力の低下によって、グリフィスの破壊基準に従って形成された可能性がある。また、岩脈A中の小断層群は母岩の花崗岩に発達する小断層群と比較して、応力 α で説明可能な滑り方向の小断層の割合が大きい。このことから、地殻浅部では母岩の花崗岩中よりも変質岩脈中で小断層が形成されやすかったと考えられる。

<謝辞> 市村正如氏，田村友識氏には，三朝地域の露頭をご紹介いただいた。山田来樹氏には薄片観察やXRF分析結果の解釈についてご助言いただいた。本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和5-6年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（JPJ007597）（地質環境長期安定性総合評価技術開発）」の成果の一部である。

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 🏢
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

[T4-P-15] Elements migration by iso-volumetric weathering in andesite

*Eiji NAKATA¹ (1. Central Research Institute of Electric Power Industry)

Keywords : Corestone、Voronoi、Iso-volumetric、LA-ICP-MS

風化の前後で安山岩の体積が変化しないこと、TiやZr, Feがmobileであるもののほとんど移動していないことを示した。

1. はじめに

変質作用に伴う元素移動の議論は変質作用前後でTiやZr, Nbを不動元素とし、単位体積あたりの含有量がかわらないと仮定することで行われている (Taboada et al., 2008; Hayes et al., 2019)。しかしながらこの不動元素の仮定が正しいかは明らかではない。このため風化作用に着目し、新鮮岩と風化部が連続するコアストーンの風化部から風化前の含鉄鉱物の分布を求め、新鮮部のそれとの比較と元素移動について紹介する。

2. 調査地点

調査地点は、山口県下関市豊田町稲見である。調査地点には前期白亜紀系の関門層群下関層群の単斜輝石安山岩が広く分布している。調査はこの単斜輝石安山岩を対象に実施した。本地域には侵食小起伏面が発達しており、地表部では赤色帯びサプロライト化した単斜輝石安山岩が広く分布している。サプロライトの厚さは20m以上におよぶ。河川争奪の結果、大河川が発達せず、サプロライトは侵食から免れ厚い風化帯が保存されたと推察できる。調査にもちいたコアストーンは地表面で採取した。このコアストーンの直径は約20cmで、表面には厚さ2cmの風化殻が形成されていた。

3. 調査方法

体積変化はコアストーンを切断した面で測定したFeの分布から予想した。使用した機器はHoriba製XGT-7200で、解析はImageJで作成したボロノイ図を利用した。Feは移動元素であるものの風化殻と新鮮岩両方で斑点状に分布している。Feは新鮮岩中に含まれるTi磁鉄鉱や単斜輝石に含まれており、風化殻中でもこれらの斑晶中に赤色に酸化して残留している。Feの二値化はXGT-7200で得られたFeの分布とImageJで抽出した点が概ね一致することを目視で確認し閾値（抽出画素）を設定した上で実施した。このため風化殻と新鮮岩で二値化のための閾値は異なる。ボロノイ図を作成したのち、解析領域に占める各ボロノイ領域の面積分布を頻度グラフにした。元素組成はEPAMとLA-ICP-MSのマルチ分析で実施した（投稿中）。検討に用いた元素の数は46である。

4. 結果

図1に風化殻と新鮮岩でFeの面積分布の頻度グラフを示した。両者ともに面積分布の頻度グラフはおおむね一致しており、風化殻生成前後で含鉄鉱物の分布面積が変化していないこと、すなわち岩石の体積が変化していない傾向が得られた。このことは密度を測定すれば元素濃度の違いから風化殻生成前後での元素の挙動がわかることを示している。元素濃度と密度計測の結果、風化殻で増加するものよりも減少する元素の方が多く、HREEよりもLREEの方が移動し難いこと、TiやZr, Feはほとんど移動しない元素に相当する傾向が得られた。

5. 考察

今回、当該安山岩コアストーンから風化前後で体積変化していない傾向が得られた。このこ

とは既存の報告(White, 1998, Nakata and Ohta, 2022)で行われるiso-volumetricな仮定が正しいことや、TiやZr, Feがほとんど移動しない元素に相当することを示している。今回のコアストーンにはTi磁鉄鉱が多く含まれる。このため帯磁率は新鮮部で大きく、赤色化した風化殻で小さい。SEM観察では白色脱色部にTiに富む球状の粒子が形成されている様子が得られた。この様子はTiが移動元素であることを示している。すなわち、Tiはほとんど移動しない元素に相当するものの、地下水中に溶出する移動元素に該当することになる。この矛盾から、TiはTi磁鉄鉱の溶出に伴い間隙水中に移動するものの、溶出した粒子の極周辺で凝集沈殿したと推察される。すなわちTiはTi磁鉄鉱界面で作られる低pH環境でイオン化したものの、すぐにpHが上昇し、Ti磁鉄鉱周辺に留まり、みかけ上不動元素になっていると推察する。

【引用文献】Taboada, T., et al.,2006 *Geoderma* , **131**, 218-236.Hayes, J. L., et al.,2019 *Science Advances*, **5**, 1-11.White, A. F.,1998 *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **62**, 209-226.Nakata, E., Ohta, T. 2022 RMEGV, (1st ed.), 289-295.

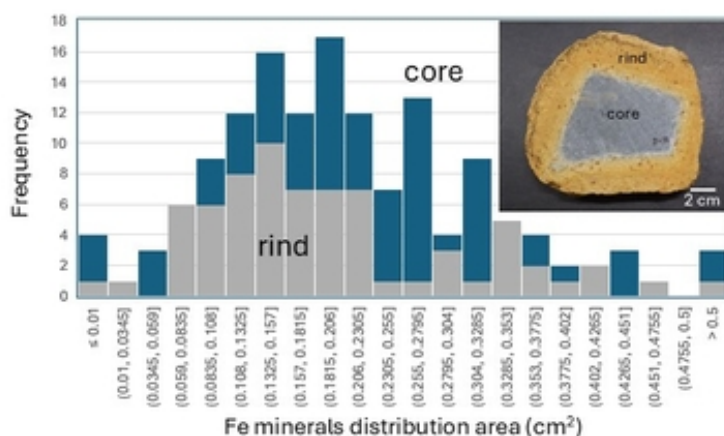


Fig.1 Fe frequency of core and rind

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 📍
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

[T4-P-16] How does stress condition and yield criterion affect permeability of shear zones induced in the Kazusa Group mudstones?

*Miyu Matsubara¹, Shinichi Uehara¹ (1. Toho Univ.)

Keywords : mudstones、Laboratory experiment、permeability

研究の背景と目的

近年、CO₂地中貯留技術が注目されている。中でも、帯水層にCO₂を注入し、貯留する帯水層貯留において、帯水層の上位に位置する泥岩などの不透水層は、CO₂の漏洩を防ぐシール層として重要な役割を担っていることが期待される。しかし、この不透水層中に断層が形成されると、それがCO₂の漏洩経路となる可能性がある。そのため、泥岩中のせん断帯の透水性を評価することは重要である。一般に、せん断帯の透水性は、形成時の応力条件や岩石の破壊基準と関連していることが知られている。Ingram & Urai (1999) は、低応力条件下では泥岩は脆性的に破壊し、せん断帯の透水性が原岩よりも高くなる一方、高応力条件下では延性的に変形し、せん断帯の透水性が原岩よりも大きく変化しないような挙動を示すということを報告している。しかしながら、日本の帯水貯留の主な対象として考えられている第三紀、第四紀泥岩についてせん断帯の透水性と破壊基準の関係はよくわかっていないのが現状である。本研究では、千葉県房総半島に分布する第三紀、第四紀上総層群黄和田層泥岩（シルト岩）を対象に、飽和状態の泥岩試料に対して封圧下での軸変形実験および透水性の評価を行うことで、泥岩の破壊基準と透水性の関係を明らかにすることを目的とする。特に、異なる応力条件下における破壊挙動とそれに伴う透水性の変化を定量的に捉え、せん断帯の透水性が、せん断時の応力条件と破壊基準にどのように関連するのかを評価する。

研究の方法

実験試料として、千葉県房総半島の上総層群に属する黄和田層の泥岩（シルト岩）を用いた。三軸変形透水試験機を使用し、以下の実験を実施した。まず、岩石の破壊基準に基づいて、等方圧下での岩石の降伏条件を、過圧密から正規圧密への移行封圧条件から評価した（実験1）。直径40 mm、長さ40 mmの円柱形試料を使用し、間隙水压を0.1 MPaに一定に保ちながら封圧を1.0～25 MPaの範囲で増加させ、それに伴う空隙体積の変化を測定した。次に、封圧がせん断変形時の透水性に与える影響を調べるため、軸変形実験と透水実験を行った（実験2）。直径40 mm、長さ80 mmの円柱形試料を使用し、実験1の結果を参考に、1.5, 2.5, 10 MPaの封圧条件で軸変形実験を実施した。変形前後に透水実験も行い、透水性の変化を測定した。

結果と考察

実験1の結果、黄和田層泥岩試料の空隙体積変化は、有効圧が約15～17 MPaで正規圧密に移行することが確認された。この結果に基づき、封圧1.5, 2.5, 10 MPaの条件で軸変形実験を実施した。軸変形実験の結果、封圧1.5, 2.5 MPaの条件下では、ピーク応力後に応力が急激に低下する脆性的な挙動が顕著に見られ、試料には斜めの破断面が形成された。一方、封圧10 MPaの条件下では、試料は延性的に変形し、明瞭な破断面は観察されなかった。変形前後の透水性を比較したところ、封圧1.5 MPaの条件では透水性はわずかに増加する傾向が見られた。しかし、封圧2.5 MPaでは変形後の透水性が変形前と比較して顕著に減少した。

一方、封圧10 MPaの条件では透水性の変化はほとんど見られなかった。これらの結果から、1.5 MPa, 2.5 MPa下では脆性的な変形が生じ、試料スケールの破断面が形成されることが示唆された。高封圧（10 MPa）下では延性的な変形が生じ、明瞭な破断面が見られなかったことから、せん断帯の透水性は大きく変化しないことが示唆された。封圧2.5 MPaでは、脆性的な挙動が見られたにもかかわらず、透水性低下した。その要因として、亀裂形成時に生じた細かい粒子が間隙水圧の増加に伴い移動し、流路を閉塞させた可能性が考えられた。今後は、粉末X線回折法や走査型電子顕微鏡（SEM）を用いた観察により、泥岩の鉱物構成や内部構造を詳細に調べ、変形後の試料の構造と透水性の関係をさらに深く考察する予定である。

<参考文献>

・Ingram & Urai (1999) : Top-seal leakage through faults and fractures: the role of mudrock properties.

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 🏛️
 T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ ECS

[T4-P-17] Evolution of mechanical properties, energetics, and microstructures associated with frictional melting during repeated seismic slips on simulated gabbroic faults

*Dyuti Prakash Sarkar¹, Takehiro Hirose², Wataru Tanikawa², Yohei Hamada², Hanaya Okuda² (1. Yamaguchi Univ., 2. Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC)

Keywords : Frictional melting、Recurring seismic slips、Slip-weakening mechanism、Weakening energy

Seismic activity along faults is primarily governed by shear rupture instabilities, leading to deformation within the fault core and adjacent damage zones. These faults, often undergo repeated episodes of seismic slips, during which the structural heterogeneity and mechanical properties of the fault zone evolve. Despite numerous studies, the evolution of fault strength, energy partitioning, and microstructures during such repeated seismic events, particularly under conditions involving frictional melting, remains insufficiently understood. In this study, we conducted controlled high-velocity shear experiments on simulated gabbroic faults to investigate the evolution of mechanical properties and structures under repeated seismic slips. Experiments were performed under dry, room-temperature conditions using hollow cylindrical samples of Belfast gabbro. A slip rate of ~1 m/s and a normal stress of ~4 MPa were applied using the Pressurized High-Velocity Rotary Shear Apparatus (PHV) at JAMSTEC's Kochi Core Center. Each experimental slip pulse, simulating a single seismic event, involved a displacement of 3.8 meters. Up to five successive pulses were applied to a single sample during the experiment. To evaluate the effects of fault surface healing and its time dependence, four inter-pulse hold durations were tested: 10, 100, 1000, and 3600 seconds. Axial shortening was observed during slip, with cumulative total displacement reaching ~1 mm over five pulses. Infrared thermography revealed significant frictional heating at the slip interface, with temperatures on the fault surface reaching 1100–1300°C. This thermal rise resulted in localized melting of the slip surface. All slip pulses exhibited a two-stage weakening behavior: an initial weakening at the onset of slip, followed by a second weakening phase after the attainment of a secondary stress peak. These behaviors are interpreted to reflect the combined effects of flash heating and the formation/growth of a frictional melt layer. Notably, the critical displacement required for dynamic weakening decreased with each successive pulse, and the peak temperatures also declined incrementally. Post-experiment, the recovered samples were observed using X-ray computed tomography (CT) for characterizing the microstructures and designating melt and damage zones. Scanning Electron Microscopy (SEM) observations of thin sections revealed melt layers with thicknesses of 100–200 μm were preserved in the recovered samples and exhibit characteristic pseudotachylite microstructures. In samples subjected to a 100-second

inter-pulse hold time, multiple discrete melt layers were identified, along with evidence of possible melt injection into adjacent damage zones. These results indicate that the energy required for dynamic weakening via frictional melting decreases with subsequent slip events.

📅 Tue. Sep 16, 2025 1:30 PM - 3:00 PM JST | Tue. Sep 16, 2025 4:30 AM - 6:00 AM UTC 🏢
T4_poster(General Edu. Build.C, 1-2F)

[3poster01-18] T4. Deformation and reaction of rocks and minerals activities

◆ entry

[T4-P-18] Experimental study on the effect of humidity on the frictional behavior of quartz-bearing rocks at intermediate to high velocities

*Mamoru Hatanaka¹, Akito Tsutsumi¹ (1. Kyoto university)

Keywords : Friction、Granite、Slip-weakening

スロー地震から通常の地震まで、断層の多様な滑り挙動メカニズムを理解するためには、幅広いすべり速度域での断層物質の摩擦特性の評価が本質的に重要である。多くの岩石の定常摩擦係数 (μ_{ss}) は高い滑り速度域において大幅に低下し[Di Toro et al., 2011]、特に石英岩の μ の値は、比較的低い滑り速度域 ($V \geq \sim 1$ mm/s) から低下する[Di Toro et al., 2004]。近年、石英の μ_{ss} の速度依存性が、相対湿度に依存することが報告された。Iida and Tsutsumi (2015) は、合成単結晶石英の μ_{ss} の値が、乾燥条件下 (Dry) では室温条件下より低い滑り速度域から低下することを示した。さらに Onoe and Tsutsumi (2020) は、合成単結晶石英の μ_{ss} の値が相対湿度に依存性を示すことを報告した。このように、石英の高速摩擦特性における湿度の影響が明らかになりつつあるが、石英以外の鉱物を含む岩石を用いた、同様の摩擦実験はほとんど実施されていない。本研究では石英を含む岩石の μ_{ss} の値に対する湿度の影響を明らかにすることを目的として、稲田花崗岩とベレア砂岩を用いた実験を実施した。一定の法線応力 (1.5 MPa) の下、滑り速度 $V = 0.01$ -10 mm/s、相対湿度が Dry ($< 3\%RH$) と、5%RH-30%RH の範囲での摩擦実験を実施した。相対湿度制御には加湿メンブレン式のシステム (HACU-2, Kitz microfilter) を用いた。

稲田花崗岩の実験結果、 $V = 10$ mm/s では、滑り距離 0.3 m までに μ の値は大幅に低下し、 μ_{ss} の値は約 0.2 に収束した。 $V = 1$ mm/s では、滑り距離 0.3 m までに μ の値は低下し、10%RH 以上で μ_{ss} の値の増加傾向が確認された。 $V = 0.1$ mm/s では、Dry、5%RH で一時的に弱化した、それ以外の全ての実験では強化し、 μ_{ss} の値は 0.6-0.7 を示した。 $V = 0.01$ mm/s では、10%RH でのみ一時的な弱化を示したが、それ以外の全ての実験では強化し、 μ_{ss} の値は 0.5-0.9 と大きくばらついた。また、予察的結果ではあるが、ベレア砂岩を用いた実験では μ_{ss} の系統的な湿度依存性は見られず、 μ_{ss} の値は全ての実験で約 0.6 であった。

Onoe and Tsutsumi (2020) は、(1) Dry 条件下での合成石英の μ_{ss} が $V = 10$ $\mu\text{m/s}$ から弱化を開始し、(2) $V = 10$ $\mu\text{m/s}$ - 105 mm/s の速度域における μ_{ss} の値が、相対湿度の増加に伴い増大する傾向を示すことを報告した。本研究の結果、高湿度条件下での稲田花崗岩の μ_{ss} は、高湿度条件下での石英の μ_{ss} に近い値を示す傾向を確認し、相対湿度の増加に伴う μ_{ss} の値の増加傾向を $V = 1$ mm/s, 10 mm/s で確認した。一方、ベレア砂岩の μ_{ss} の値の相対湿度に対する依存性は確認されなかった。以上より、石英を含む岩石間の μ_{ss} の相対湿度に対する依存性の違いが確認されたが、これに対する岩石間での粒径や組織などの不均質性の違いの影響を評価するため、今後は摩擦面を保存した状態での薄片作成および構造観察等を実施することで、石英を含む岩石への湿度の影響の評価の解明に繋げたい。

参考文献

- G. Di Toro, D. L. Goldsby, and T. E. Tullis [2004], Friction falls towards zero in quartz rocks as slip velocity approaches seismic rates, *Nature*, 427, 436–439
- G. Di Toro, R. Han, T. Hirose, N. De Paola, S. Nielsen, K. Mizoguchi, F. Ferri¹, M. Cocco and T. Shimamoto [2011], Fault lubrication during earthquakes, 24. 3. 2011. Vol. *Nature*, 495
- Y. Onoe, 日本地球惑星科学連合2020年大会講演要旨, SSS15-11
- H. Iida, 日本地球惑星科学連合2015年大会講演要旨, SSS27-P21

キーワード: 摩擦, 花崗岩, 滑り弱化

Keywords: friction, Granite, Slip-weakening