

Oral presentation | S1, S4: Earth materials science related to igneous processes and plate convergence region (Joint Special Session)

📅 Fri. Sep 17, 2021 2:00 PM - 4:45 PM JST | Fri. Sep 17, 2021 5:00 AM - 7:45 AM UTC | 🖥 Zoom Session 3
S1, S4: Earth materials science related to igneous processes and plate convergence region (Joint Special Session)

Chairperson: DYUTI PRAKASH SARKAR (Hiroshima Uni.), Morihisa Hamada (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

[Chairperson]

Dyuti Prakash Sarkar: S1,S4-01 - S1,S4-04

Morihisa Hamada: S1,S4-05 - S1,S4-09

2:00 PM - 2:30 PM JST | 5:00 AM - 5:30 AM UTC

[S1,S4-01] Relationship of slow earthquakes to intraslab and inland earthquakes in the Nankai subduction zone

*Saeko Kita¹, Heidi Houston², Suguru Yabe³, Sachiko Tanaka⁴, Youichi Asano⁴, Takuo Shibutani⁵, Naoki Suda⁶ (1. BRI, 2. Univ. of Southern California, 3. AIST, 4. NIED, 5. DPRI, Kyoto Univ., 6. Hiroshima Univ.)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[S1,S4-02] Depth profile of frictional properties inferred from cuttings obtained at the Nankai trough C0002 drilling site

*RIHO FUJIOKA¹, Katayama Ikuo¹, Kitamura Manami², Okuda Hanaya³, Hirose Takehiro⁴ (1. Hiroshima Univ. Sci., 2. AIST, 3. Univ. of Tokyo, AORI, 4. JAMSTEC Kochi Institute)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[S1,S4-03] Temperature dependence of direct effect on the friction of single-crystal muscovite from room to elevated temperature

*Hiroshi Sakuma¹, Diane Moore², David Lockner² (1. NIMS, 2. USGS)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[S1,S4-04] Relationship between hydrothermal fluid-induced illite and void, and faulting process

*Jun-ichi Ando¹, Kouta Kojima¹, Kaushik DAS¹, Naotaka Tomioka², Seiichiro Uehara³ (1. Hiroshima Uni., 2. JAMSTEC • Kochi Core Center, 3. Kyushu Univ.)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

休憩

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[S1,S4-05] Influence of pore geometry and alteration minerals on seismic wave velocities of Epidosite collected from the Oman Drilling Projects

*Kumpei Nagase¹, Ikuo Katayama¹, Kohei Hatakeyama², Yuya Akamatsu¹, Keishi Okazaki³ (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. Meisei Uni., 3. JAMSTEC)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[S1,S4-06] Fluid inclusions in calcite of serpentinite mud seamounts in the Mariana forearc
[Presentation award entry]

*Chihaya Yamamoto¹, Kento Kugimiya¹, Shinya Ishido¹, Tatsuhiko Kawamoto¹, Yuji Ichiyama² (1. Shizuoka Uni. Sci., 2. Chiba Uni. Sci.)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[S1,S4-07] Diffusive fractionation of carbon isotopes in rhyolitic melt

*Akira Kawahara¹, Shumpei Yoshimura¹ (1. Hokkaido Uni. sci.)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[S1,S4-08] Investigation of the magma evolution process inferred from major and trace element compositions of amphibole

[Presentation award entry]

*Ikuo Okada¹, Tomoyuki Shibata¹, Masako Yoshikawa¹, Hidemi Ishibashi², Takeshi Sugimoto³, Yasutaka Hayasaka¹ (1. Hiroshima Uni. , 2. Shizuoka Uni., 3. Geothermal Engineering Co., Ltd.)

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[S1,S4-09] Crystal habit change of groundmass pyroxenes depending on magma ascent paths revealed by single-step decompression experiments

[Presentation award entry]

*Shota Okumura¹, Satoshi Okumura², Akira Miyake¹ (1. Kyoto Uni. Sci., 2. Tohoku Uni. Sci.)

紀伊半島下のゆっくりすべり，スラブ内地震と内陸地震

北佐枝子* (建築研, UC バークレ)、Heidi Houston (南カリフォルニア大)、
矢部優 (産総研)、田中佐千子、浅野陽一 (防災科研)

瀬谷拓郎、須田直樹 (広大・院先進理工)

Relationship of slow earthquakes to intraslab and inland earthquakes in the Nankai subduction zone

Saeko Kita* (BRI & UC Berkeley), Heidi Houston (USC), Suguru Yabe (AIST), Sachiko Tanaka,
Youichi Asano (NIED), Takuo Shibutani (DPRI, Kyoto Univ.), Naoki Suda (Hiroshima Univ.)

日本列島の陸プレートと海洋性プレートの境界では「ゆっくりすべり」と呼ばれる、継続時間の長い地殻変動現象が、東北沖及び南海トラフ等で発生していることが知られている。「ゆっくりすべりが発生すれば、その下の海洋性スラブ内での応力場や地震活動も変化する」と考え、紀伊半島下にて発生する短期的スロースリップイベントと呼ばれる繰り返し周期約6ヶ月のゆっくりすべり発生前後のスラブ内地震の観測データ(防災科研による発震機構解, 気象庁一元化震源)約17年分の時間変化を調べた。なお、ゆっくりすべり(slow slip)は、深さ30-40km程度にて深部低周波微動(episodic tremor)も伴って発生するため、以下ETSとして記す。

得られた結果は下記の通りである。1) ETS発生前後のスラブ内の応力軸の変化を捉えられ、さらに応力軸の変化がETS発生域直下(5度)と比べ、より浅部の領域で大きいこと(12度)を見出した。また、その浅部の領域でも、ETS後にゆっくりすべりを示唆する地震活動が見られた。これらの結果は、測地学的研究(Kano and Kato, 2020)で報告のあるETS後の浅部でのゆっくりすべりを、地震データ解析でも検出可能なことを意味する。また2) ETS発生の約1ヶ月前にスラ

ブ内地震のb値のピーク及び発生個数の急激な上昇が見られた。これらの特徴は、流体注入による誘発地震の特徴[Bachmann et al. 2012]に似ており、スラブ内からプレート境界への流体の流入によりETSが発生することを意味すると考えられる。Ujiie et al. [2018]では、ゆっくりすべりの発生周期への石英脈形成の関与が指摘されており、ETS前後でのスラブ内の応力軸の回転にも、石英脈の形成過程の関与があるかもしれない。

紀伊半島の内陸地震についても調べたところ、ETS後に活発になるクラスターも見つかった。さらなる詳細な解析により、流体を介した沈み込み帯における地震・地殻変動現象間の関係の解明が期待される(図1)。

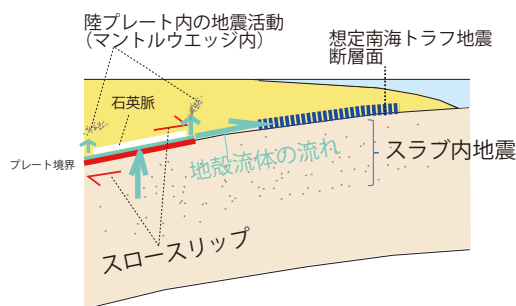


図1: 紀伊半島下でのスロースリップ、スラブ内地震、マントルウエッジ内の地震活動と地殻流体との関係(概念図)

Key words: Slow earthquake, Intermediate-depth intraslab earthquake, Stress field, Quartz vein, b-value

Corresponding author: kita@kenken.go.jp

南海トラフ C0002 掘削地点でのカッティングス試料を用いた摩擦特性プロファイルの作成

藤岡里帆, 片山郁夫 (広島大・院理), 北村真奈美 (産総研),
奥田花也 (東京大・大気海洋研) 廣瀬丈洋 (海洋研究開発機構)

Depth profile of frictional properties inferred from cuttings obtained at the Nankai Trough C0002 drilling site

Riho Fujioka*, Ikuo Katayama (Hiroshima Univ. Sci.), Manami Kitamura (AIST),
Hanaya Okuda (Univ. of Tokyo, AORI), Takehiro Hirose (JAMSTEC)

南海トラフの地震発生メカニズムを解明するために、2007年から2019年にかけて、南海トラフ地震発生帯掘削計画(NanTroSEIZE)がIODPの一環として実施された。これまでの摩擦実験の研究では、IODP掘削計画で採取されたコアサンプルを用いて行われていたが(e.g., Takahashi et al.2014; Ikari et al.2018)、これらのサンプルは南海付加体の比較的浅い部分から採取されたものであった。本研究では、掘削地点C0002で海底下875~3262mから連続的に採取されているカッティングス試料に対し約50mごとに摩擦実験を行い、摩擦特性-深さプロファイルを作成した。

摩擦実験は広島大学設置の高温二軸摩擦試験機を用い、静水圧を想定した原位置と同じ有効垂直応力($\sigma_e = 9\text{--}34\text{ MPa}$)を設定し、海水を模擬したNaCl水溶液(0.5mol/l)を用いた含水条件下で行った。カッティングス試料をすりつぶし、粒径を106 μm 以下にそろえ模擬ガウジを作成した。すべり速度は3 $\mu\text{m/s}$ で定常状態に達した後、0.3、3、33 $\mu\text{m/s}$ の間で段階的に変化させた。この実験より、定常状態での摩擦係数、摩擦の速度依存性(a-b)および臨界すべり距離(Dc)を調べた。実験結果より摩擦特性-深さプロファイルを作成し、カッティングス試料の粘土鉱物総含有量(Underwood 2017)との比較検討を行い、摩擦

特性と粘土鉱物含有量の関連性を検証した。

摩擦係数 μ は海底下875~3262mにおいて $0.472 \leq \mu \leq 0.657$ の範囲であり、深さが深くなるにつれやや上昇する傾向が見られた。また、スメクタイトの含有量は深さとともに減少しているため、摩擦係数の深さ依存性はスメクタイトからイライトへの相転移に関係していると考えられる。南海トラフで得られた掘削試料を用いた先行研究(Takahashi et al.,2014, Ikari et al., 2018)の結果と比較すると、本研究で得られた摩擦係数は粘土鉱物の含有量が多いにも関わらず高めであった。これは、粘土鉱物のうちスメクタイト以外の鉱物含有量が多いためであると考えられる。一方、摩擦の速度依存性パラメータ(a-b)は $0.001 \leq a-b \leq 0.006$ の範囲となり、いずれの深さでも速度強化の性質を示した。これらの結果より、掘削地点C0002の摩擦特性は、粘土鉱物の種類や含有量に依存する可能性が高いことがわかった。また、摩擦の速度依存性が正であることから、掘削地点C0002は安定すべり領域であると考えられる。紀伊半島沖の掘削地点近傍で観測されているSlow Slip Events(Araki et al 2017, Yokota & Ishikawa 2020)は、本研究で明らかになった摩擦特性に起因する可能性がある。

Key words: Friction, Nankai Trough, Accretionary prism, clay minerals

*Corresponding author: m202543@hiroshima-u.ac.jp

室温から高温における単結晶白雲母の摩擦における 直接効果の温度依存性

佐久間博* (物材機構)、Diane Moore (USGS)、David Lockner (USGS)

Temperature dependence of direct effect on the friction of single-crystal muscovite from room to elevated temperature

H. Sakuma* (NIMS), D. Moore (USGS), D. Lockner (USGS)

Deformation in the crust often localizes along weak faults. Characterizing the frictional behavior of materials in faults is essential to understand the crustal dynamics. The rate and state friction (RSF) law (Dieterich 1979; Ruina 1983) achieved great success in characterizing the friction of simulated fault and gouges as a function of slip velocity and holding time. The RSF law is, however, semi-empirical and it is difficult to apply at temperatures and pressures beyond the experimentally tested ranges. To develop a non-empirical RSF law, the physics behind the semi-empirical parameters must be revealed.

We have studied the direct-effect parameter “ a ” which is the critical parameter in the RSF law for the response of the change in slip rate. The parameter has been interpreted as a thermally activated process at asperity contacts (Stesky 1978; Heslot *et al.*, 1994). Based on the process, the “ a ” value should increase with increasing temperature. Our velocity-stepping shear tests on single-crystal muscovite, however, indicate that the “ a ” value clearly decreases with increasing temperature from $\sim 25^\circ$ to 400°C . This implies that the thermally activated process may not be applied to the friction of muscovite.

We also conducted the non-equilibrium molecular dynamics simulations of single-crystal muscovite to reveal the behavior occurring at the contact area during the sliding. Simulation conditions are: 25 to 600°C , normal stress of 6 GPa, shear rate of 10^8 to 10^{12} s^{-1} . The “ a ” value is calculated by the difference in the steady state friction coefficient among different shear rates. The simulated “ a ” value decreases with increasing temperature at shear rate higher than 10^{10} s^{-1} . At shear rates $< 10^{10} \text{ s}^{-1}$, the simulated “ a ” values are constant independent of temperature. These results indicate that the physics of direct effect of single-muscovite may not be interpreted by the thermal activation theory.

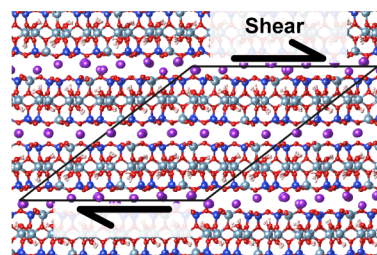


Fig. A snapshot of MD simulations

Keywords: direct effect, thermal activation process, mica, molecular dynamics, rate and state friction law

*Corresponding author: SAKUMA.Hiroshi@nims.go.jp

熱水流体に起因したイライトと空孔の形成および 断層発生過程との関係

安東淳一* (広島大), 兒島巧太 (広島大), DAS Kaushik (広島大),
富岡尚敬 (JAMSTEC・高知コア研), 上原誠一郎 (九州大)

Relationship between hydrothermal fluid-induced illite and void, and faulting process

J. Ando* (Hiroshima Univ.), K. Kojima (Hiroshima Univ.), K. Das (Hiroshima Univ.),
N. Tomioka (JAMSTEC), S. Uehara (Kyushu Univ.)

【はじめに】 本研究では、地質調査と岩石の微細組織観察をもとに、熱水流体が関与したイライトの晶出と空孔の形成が断層形成に大きく関与した可能性を報告する。

【研究対象】 研究対象とした断層は、秩父帯南帯に属する三重県度会町内の塊状チャート岩体中に発達する。この断層は、塊状チャート岩体中央部に発達し、数10 mにわたり直線的に露出する。

【地質調査の結果】 以下のことが明らかとなった。1) 塊状チャート岩体中には、スタイロライトシームと、スタイロライトシームから形成された幅約0.5 mmから1 cm程度の白色バンドが無数に認められる。スタイロライトシームと白色バンド、それと研究対象とした断層の走向と傾斜は、ほぼ平行である。2) 断層から幅約100 mの領域は、断層ダメージ帯となっている。未変形の塊状チャート部と断層ダメージ帯の間には、幅約10 mの褶曲部が存在する。3) 断層近傍では、白色バンドを横ずれさせるリーデル剪断面が発達する。4) 断層面は、白色バンドが滑動して形成されている。

【微細組織観察の結果】 未変形塊状チャート、断層ダメージ帯のチャート、断層面を構成するチャートを採取し、偏光顕微鏡とSEM

を用いて微細組織観察を行った。また未変形塊状チャート、スタイロライトシーム、白色バンド、断層すべり面を構成する鉱物を同定するためにXRD、EPMAおよびATEMを用いて分析を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。1) 未変形塊状チャート、スタイロライトシーム、白色バンド、断層面はそれぞれ、石英と緑泥石、緑泥石とイライト、石英と約10 μm以下のイライト、石英とイライトで構成されている。2) 白色バンドには、特徴的な組織として直径数μm以下の多数の空孔が認められた。3) イライトの結晶化度は、スタイロライトシームや白色バンドよりも断層面のものが良い。

【考察】 スタイロライトシームと白色バンドを構成するイライトは、未変形塊状チャート中には存在しないため、浸透してきた熱水流体から晶出したことがわかる。またスタイロライトシームは圧力溶解で形成されるため、白色バンド中に顕著に認められる空隙は、石英の溶解によって形成されたと考えられる。今回の研究では、白色バンドにはイライトと空隙が濃集している為に、塊状チャート岩体中内での弱面となり、リーデル剪断面や褶曲部で示唆される応力場において、断層を形成させた可能性が高い。

Keywords: Illite, Fluid, Fault, stylolite

*Corresponding author: jando@hiroshima-u.ac.jp

オマーン陸上掘削プロジェクトで採取されたエピソードサイトの地震波速度に空隙形状と変質鉱物が与える影響

長瀬薫平, 片山郁夫 (広島大・院理), 畠山航平 (明星大・教育),
赤松祐哉 (広島大・院理) 岡崎啓史 (海洋研究開発機構)

Influence of pore geometry and alteration minerals on seismic wave velocities of Epidosite collected from the Oman Drilling Projects

Kumpei Nagase*, Ikuo Katayama (Hiroshima Uni. Sci.), Kohei Hatakeyama (Meisei Uni.),
Yuya Akamatsu (Hiroshima Uni. Sci.), Keishi Okazaki (JAMSTEC)

海洋地殻の含水化は沈み込み帯への水輸送に重要な役割を果たしている。特に、地震波速度が遅い海洋地殻浅部(Layer 2)には多くの水が割れ目中に存在していると考えられている(e.g., Detrick et al., 1994)。しかし、Layer 2の最下部において例外的に V_p/V_s の低い領域が観測されており (Spudich and Orcutt 1980), 割れ目のようにアスペクト比が小さい空隙は岩石の V_p/V_s を増加させることが理論モデルから予想されているため、割れ目だけでは説明することができない。 V_p/V_s の低い領域を説明する要因として、(1) アスペクト比が大きな丸みを帯びた空隙、(2) 熱水変質の影響の二つが考えられる。オフィオライトにみられるエピソードサイトは熱水循環に伴って形成された多孔質な岩石であり、造岩鉱物の中でも特に低い V_p/V_s を示す石英を多く含んだ岩石であることから、低 V_p/V_s 構造と関連している可能性がある。そこで、本研究ではエピソードサイトの地震波速度(V_p/V_s)について空隙形状と変質鉱物に着目した物性測定と組織観察を行った。

研究にはオマーンオフィオライト陸上掘削プロジェクトのGT3Aサイトで採取されたエピソードサイトとダイアベースを用いた。弾性波速度と空隙率の同時測定は容器内変形透水試験機を用いて常温下で行い、間隙水圧は1 MPaで一定にして、封圧を3 MPaから200 MPaまで段階的に上げた。実験後の回収試料は直径6 mmに成形し、高知コア研究所設置のマイクロフォーカスX線CTを用いて三次元での組織観察を行った。

ダイアベースは、封圧の増加に伴って空隙率が1.5%から1.1%まで減少し、P波速度は5.58 km/sから5.81 km/s、S波速度は3.09 km/sから3.32 km/sまで増加する結果が得られた。 V_p/V_s は加圧に伴って減少していく傾向が見られ、200 MPaにおける V_p/V_s は1.75であ

った。また、回収試料の三次元での組織観察からは割れ目のような空隙形状を示していることが確認された。エピソードサイトは、空隙率が4.9%から4.8%まで減少し、P波速度は5.43 km/sから5.92 km/s、S波速度は3.33 km/sから3.62 km/sまで増加する結果が得られた。 V_p/V_s はあまり変化せず、200 MPaにおける V_p/V_s は1.64であった。また、回収試料の組織観察からは丸みを帯びた空隙形状を示した。

実験試料のモード組成と各構成鉱物の弾性定数から固相の V_p/V_s を計算した結果、ダイアベースは $V_p/V_s = 1.73$ 、エピソードサイトは $V_p/V_s = 1.67$ と見積もられ、エピソードサイト化が岩石の固相の V_p/V_s を低下させている可能性を支持する計算結果が得られた。続いて、計算から求めた固相の V_p/V_s と封圧200 MPaにおいて実験で得られた V_p/V_s を比較することで、空隙の効果についての検討を行った。これらの比較から、実験で得られたダイアベースの V_p/V_s は固相の計算値に比べて高い値であったのに対して、エピソードサイトの V_p/V_s は固相よりも低い値を示した。空隙を含んだ実験試料の傾向は、空隙形状の違いを反映している可能性が高い。そこで、有効媒質理論で与えられる V_p/V_s の理論モデルと比較を行うことで空隙のアスペクト比を推定した。その結果、ダイアベースの空隙のアスペクト比は~0.01、エピソードサイトのアスペクト比は~0.1と見積もられた。このように、実験結果と理論モデルの比較から得たエピソードサイトの空隙は丸みを帯びた空隙であることが示唆され、このことは、CT観察から得られた空隙形状とも整合的であった。以上のことから、Layer 2最下部の低 V_p/V_s は空隙形状の違いと苦鉄質地殻における変質の二つを反映している可能性が考えられる。

Key words: Epidosite, Pore geometry, Seismic wave velocities

*Corresponding author: kumpei-nagase@hiroshima-u.ac.jp

マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中の カルサイト中の流体包有物

山本千早^{1*}, 釘宮健人¹, 石戸慎也¹, 川本竜彦¹, 市山祐司²
(¹静岡大・理・地球科学,²千葉大・理・地球科学)

Fluid inclusions in calcite of serpentinite mud seamounts in the Mariana forearc

Chihaya Yamamoto^{1*}, Kento Kugimiya¹, Shinya Ishido¹, Tatsuhiko Kawamoto¹, Yuji Ichiyama²
(¹Dept Geosciences, Faculty Science, Shizuoka Univ., ²Dept Geosciences, Faculty Science, Chiba Univ.)

We report chemical species, salinity and homogenization temperature of fluid inclusions in calcite in serpentinite mud seamounts in the Mariana forearc and provide constraints on the chemical composition of subduction fluids. Based on the obtained data, we suggest that the fluid inclusions represent saline fluids derived from the plate boundary.

はじめに：マリアナ海溝の前弧域では、いくつかの蛇紋岩泥海山の存在が確認されている。マリアナ沈み込み帯は非付加型であるため、蛇紋岩や流体が上昇する際に化学組成が陸源物質によって化学的に乱されない。また、蛇紋岩や流体は既に水-岩石相互作用を経験した断層に沿って上昇するため、プレート境界の流体の組成変動を最小限にすると考えられる (Salisbury et al., 2002, Proc Ocean Drill Prog). 流体包有物は鉱物中に流体が取り込まれた時の温度や化学組成などの情報を持つ。本研究は、マリアナ前弧域の蛇紋岩泥海山岩石中のカルサイトに含まれる流体包有物を分析し、沈み込み帯流体の化学組成に束縛条件を与える。

方法：Asùt Tesoru 海山と South Chamorro 海山で採取された蛇紋岩の礫・砂・泥を観察した。Asùt Tesoru 海山の試料は、IODP Exp.366 の掘削試料(U1496A), South Chamorro 海山の試料は、ODP Leg195 の掘削試料(1200E)である。両面研磨片を作成し、偏光顕微鏡を用いて炭酸塩鉱物と鉱物中の流体包有物を探した。続いて、ラマン分光分析を行い、ホスト鉱物はカルサイト、流体は水であると同定し、マイクロサーモメトリー法により、流体包有物の塩濃度と均質化温度を測定した。

結果と考察：Asùt Tesoru 海山の試料から 22 点の流体包有物を分析し、塩濃度は 5.7 ± 1.9 (wt.% NaCl 当量)、均質化温度は $184 \pm 62^\circ\text{C}$ を得た。South Chamorro 海山は、38 点の流体包有

物の分析から、塩濃度は 3.7 ± 1.3 (wt.% NaCl 当量)、均質化温度は $280 \pm 46^\circ\text{C}$ を得た。これらの均質化温度は、この地域のプレート境界の温度に近い (Hulme et al., 2010, G-cube; Ichiyama et al., 2021, Lithos; Debret et al., 2019, Lithos; Maekawa et al., 1993, Nature; Pabst et al., 2012, Lithos) ので、流体包有物はプレート境界から上昇した塩水流体を取り込まれたものであると提案する。

Asùt Tesoru 海山と South Chamorro 海山の下のプレート境界の深さは 18km と 19km で、海溝軸からの距離も 72km と 78km で、ほぼ等しい (Debret et al. 2019, Lithos; Fryer et al. 2017, IODP Publications). 海溝軸からの距離に応じて蛇紋岩泥海山の間隙流体組成と鉱物相は変化する (Fryer et al., 2017, IODP Publications) ため、流体の塩濃度や均質化温度も海溝軸からの距離に応じて変化する可能性はある。両海山におけるプレート境界からの位置関係は類似しているが、それぞれの塩濃度の測定値には差があった。もう少しデータをとることで値の確実性が増し、より考察を深めたい。本地域では、ほかにも Fantangisña 海山と Yinazao 海山の二つの海山の掘削試料が入手でき、今後これらの蛇紋岩泥海山中の炭酸塩鉱物の流体包有物の観察を行うことで、海溝軸からの距離、プレート境界の深度と流体の塩濃度との関係をより詳細に解明したい。

Keyword : fluid inclusion, salinity, plate boundary, Mariana forearc, subduction zone fluids

*Corresponding author: yamamoto.chihaya.18@shizuoka.ac.jp

流紋岩質メルト中における炭素同位体の拡散分別

川原 爽*・吉村俊平（北海道大学）

Diffusive fractionation of carbon isotopes in rhyolitic melt

Akira Kawahara*, Shumpei Yoshimura (Hokkaido Univ.)

We measured diffusivity of $^{12}\text{CO}_2$ and $^{13}\text{CO}_2$ in dry and hydrous rhyolitic melts. We found that diffusive fractionation occurred significantly between $^{12}\text{CO}_2$ and $^{13}\text{CO}_2$ in hydrous rhyolitic melts, while it did not occur in dry melts.

揮発性成分を含むマグマが上昇すると、圧力が低下し発泡が起こる。このとき、一つの揮発性成分でも複数の同位体が存在し、それらの間で拡散速度が異なることから、短時間の間に同位体分別（拡散分別）が起こることが知られている（e.g., Fortin et al., 2017）。主要な揮発性成分である CO_2 についても、 $^{12}\text{CO}_2$ と $^{13}\text{CO}_2$ の間で拡散分別が起こり（Watson, 2017）、全地球の炭素循環などに重大な影響を及ぼす可能性があるが、その有無や程度は全く不明である。そこで本研究では、①FT-IR を用いた超低濃度 $^{13}\text{CO}_2$ の定量分析法の開発、②流紋岩質ガラスへの CO_2 の拡散実験の2つを行い、 $^{12}\text{CO}_2$ と $^{13}\text{CO}_2$ の拡散分別が起こるかどうかを検証した。

<手法>

和田峠産の流紋岩質黒曜石を 750–1000°C、6–100 MPa の条件で CO_2 - H_2O 混合流体または純粋 CO_2 流体中に 24–576 時間保持し、 CO_2 を拡散させた。そして、FT-IR を用いて試料内部の $^{12}\text{CO}_2$ ・ $^{13}\text{CO}_2$ ・ H_2O の濃度分布を分析した。 $^{13}\text{CO}_2$ は 2280 cm^{-1} に吸光帯をもつことが知られているが（Ihinger et al., 1994）、その濃度はあまりに低いた

め、従来はこれを測定することは困難であった。本研究では光学系と試料室を真空排気できる FT-IR を用い、50×50 μm のビームで積算回数を 1024 回まで増やすことで、濃度 0.3 ppm の $^{13}\text{CO}_2$ を ± 0.01 ppm(3%)の精度で測定できるようにした。

<結果>

純粋 CO_2 を用いた実験では、ガラス含水量は 0.1~0.2 wt%であった。 $^{12}\text{CO}_2$ の拡散係数は $5.15 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$ (750°C) ~ $1.57 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (1000°C)、活性化エネルギーは 148 kJ/mol であった。これは、同様の実験を行った Blank (1994)の結果とほぼ一致していた。また、 $^{13}\text{CO}_2$ の拡散係数は $^{12}\text{CO}_2$ の値とほぼ等しく、有意な拡散分別は認められなかった。一方、 CO_2 - H_2O 混合流体を用いた実験ではガラス含水量は 0.3~3.0 wt%であった。このとき $^{13}\text{CO}_2$ と $^{12}\text{CO}_2$ で拡散プロファイルの形状は大きく異なり、 $^{13}\text{CO}_2$ の拡散係数の方が 18~30%ほど低く、拡散分別が起こっていることが判明した。このことから、含水量の違いが $^{13}\text{CO}_2$ と $^{12}\text{CO}_2$ の拡散分別に影響を与えていることが示唆され、現在検証を行っている。

Keywords: CO_2 , diffusive fractionation, silicic melt

*Corresponding author: kawahara.akira.s3@elms.hokudai.ac.jp

角閃石の主要元素・微量元素組成を用いた マグマの進化過程の解明

岡田郁生, 柴田知之, 芳川雅子 (広島大), 石橋秀巳 (静岡大),
杉本健 (地熱エンジニアリング株式会社), 早坂康隆 (広島大)

Investigation of the magma evolution process inferred from major and trace element compositions of amphibole

Ikuo Okada*, Tomoyuki Shibata, Masako Yoshikawa (Hiroshima Univ.),
Hidemi Ishibashi (Shizuoka Univ.), Takeshi Sugimoto (Geothermal Engineering Co., Ltd.),
Yasutaka Hayasaka (Hiroshima Univ.)

斑晶鉱物の化学・同位体組成は、平衡共存するメルトの物理化学的特性を記録するため、マグマの進化過程のある時点での情報を提供する。最近、多変量回帰分析を用いることで、相平衡論に基づいた伝統的なメルトの物理化学的特性の推定の限界を超える、成果が報告されるようになった。例えば、高温高圧実験データを多変量回帰分析することで、角閃石の主要元素組成から晶出時の温度・圧力やメルトの主要元素組成を推定する方法が提案され (e.g., Putirka 2016; Ridolfi & Renzulli 2012; Zhang et al., 2017), これらを火山噴出物中の角閃石に適用する試みが精力的に行われている (e.g., Nagasaki et al., 2017; 石橋ほか 2021)。さらには、組成依存性が高く推定困難であった角閃石・メルト間の微量元素の分配係数も高温・高圧実験の多変量回帰分析で推定することが可能となった (Shimizu et al., 2017; Humphreys et al., 2019)。我々は、これらの新たに開発された手法を統合して用いることで、マグマの進化過程のある時間微分における、温度・圧力、主要元素・微量元素組成を推定することを目的に、九州北東部に位置する第四紀由布火山の安山岩中の角閃石の主要元素・微量元素組成を分析した。また、角閃石の微量元素組成分析にあたって、LA-ICP-MSによる局所分析法を確立した。角閃石の主要元素組成はEPMAで分析した。

由布火山の安山岩中の角閃石は、相対的にSiに乏しいグループ (5.8-6.2 atomic per formula unit (apfu)) と富むグループ (6.5-7.0 apfu) に分けられ、これらのグループは同一安山岩中に共存する。本研究では、前者をpSi、後者をrSiと呼ぶ。推定した角閃石の晶出温

度圧力条件、および共存メルトの主要元素組成は、pSiが356–600 MPa, 932–1016°C、玄武岩質からデイサイト質 (SiO₂ = 52.3–62.9 wt.%) で、rSiが73–221 MPa, 773–846°C、流紋岩質 (SiO₂ = 72.2–80.3 wt.%) でそれぞれ異なる範囲が得られた。始原的のマントル規格化パターン (PMパターン) 図において、pSiとrSiと平衡なメルト (以下pSiメルトとrSiメルトと呼ぶ) は両者ともLIL元素に富み、HFS元素が枯渇した典型的な島弧マグマの特徴を示す。しかしながら、pSiメルトは正のSrの異常と相対的に高Sr/Y比 (90–180) で特徴づけられるのに対し、rSiメルトは負のSrの異常と低Sr/Y比 (24–42) を示す。pSiメルトのPMパターンやSr/Y比はアダカイトの特徴を持つ姫島火山群のデイサイト (Shibata et al., 2014) と類似する。一方、rSiメルトは姫島火山群の流紋岩 (Shibata et al., 2014) や九重火山の大規模噴火由来のテフラ中の火山ガラス (Albert et al., 2019) と類似する。この類似性は、大規模噴火を起こしうる珪長質マグマの成因として一般的に地殻物質の部分溶融が考えられている (e.g., Kimura et al., 2015) ことから、rSiメルトも地殻物質の部分溶融が起源であると考えられることでも説明できるかもしれない。

以上のことから、由布火山下では、アダカイト質マグマと地殻溶融を起源とするマグマが、それぞれ、異なる深度と温度で存在し、これらマグマの混合が由布火山のマグマ進化に関与していると考えられる。これらのことから、角閃石の主要元素・微量元素組成は複雑なマグマプロセスを経て生成されたマグマの起源を知る上で強力な地球化学的ツールであることを示すと考えられる。

Keywords: amphibole, magma evolution, magma mixing, P-T conditions, Yufu volcano

*Corresponding author: ikuo-okada@hiroshima-u.ac.jp

火道上昇履歴に応じた石基輝石晶相変化の実験的検証

奥村翔太(京都大), 奥村聡(東北大), 三宅亮(京都大)

Crystal habit change of groundmass pyroxenes depending on magma ascent paths revealed by single-step decompression experiments

Shota OKUMURA*(Kyoto Univ.), Satoshi OKUMURA (Tohoku Univ.), Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)

近年、マグマの火道上昇中にレオロジーや脱ガス機構が噴火様式に影響することが指摘されている^[1]。この噴火様式分岐条件の理解に重要な上昇履歴は、噴火噴出物の結晶数密度といった岩石組織に記録されている。一般的には減圧脱水で生じた実効過冷却度の増加とともに核形成速度は上昇するが、上昇速度が速すぎることによって結晶数密度が却って低くなる場合があり、桜島大正噴火(プリニー式)の軽石はその一例であると考えられている^[2]。すなわち、このような噴火では結晶数密度から上昇速度を制約できない可能性があるため、他の岩石組織から制約することが求められる。一方で、新燃岳 2011 年噴火(サブプリニー式、ブルカノ式)における研究から、我々は石基輝石結晶の晶相(結晶面の組合せ)が上昇に伴う過冷却度の指標になりうることを示唆した^[3]。サブプリニー式噴火では{110}, {010}からなる六角柱状の石基輝石が多く含まれる一方、ブルカノ式噴火ではさらに{100}が追加された八角柱が主であった。他方、桜島大正噴火において、結晶に富む軽石は六角柱に富んでいたが、結晶に乏しい軽石中からは{110}の卓越した四角柱を確認し^[4]、過冷却度の増大に伴って石基輝石結晶の面の種類が減少することを示唆した。しかしながら、その実験的検証は未だ行われていない。

そこで本研究では、桜島大正軽石を用いた減圧結晶化実験を行い、回収物の石基輝石晶相を観察した。実効過冷却度に応じた晶相変化を明らかにし、マグマ上昇過程の指標として石基輝石晶相が有用か考察した。

減圧実験は東北大学所有の外熱式水熱合成装置で行った。出発物質として、桜島大正軽石の欠片と、それらを完全溶融させた均質なガラスの2種類を用いた。それぞれ Au パイプに水と封入したものを実験試料として、

Keywords: pyroxene, crystal habit, decompression experiment, Sakurajima volcano

*Corresponding author: okumura@kueps.kyoto-u.ac.jp

NNO±1の酸化還元環境、120 MPa, 920 °Cの状態から、等温急減圧(終端圧 120–10 MPa)して保持し、急冷回収した。実験回収物に対して、電界放出形走査型電子顕微鏡による石基輝石結晶の粒径・形状分析を行った。

観察の結果、軽石を出発物質とした実験回収物では、減圧量が大きくなるにつれて輝石晶相が八角柱から六角柱へと変化した。溶融ガラスを出発物質とした実験回収物では、120 MPa で保持して急冷回収した場合は六角柱が主であり、終端圧 10 MPa の回収物では四角柱が主であった。

実験結果から、過冷却度が大きくなるにつれて晶相が八角柱⇒六角柱⇒四角柱へ変化することが確認された。この結果は、結晶に乏しく四角柱が特徴的な桜島軽石のほうが、結晶に富み六角柱が特徴的な軽石よりも過冷却度が高かったことを示唆し、マグマ上昇速度の違いに言及した先行研究^[2]を実証した。一方、天然試料で確認された四角柱の晶相は、溶融ガラスでないとは再現できなかった。この結果は、減圧前の結晶の有無に起因すると考えられる。すなわち、減圧直後に新たに核が形成するよりも先に既存結晶が成長したことで、系に生じた実効過冷却度が緩和されたと推察される。このことは、大正噴火の一部のマグマが、石基結晶に極めて乏しい均質なメルトの状態から一気に上昇したことを示唆する。石基輝石晶相は、火道での停滞のような複雑な上昇履歴を制約する手掛かりにもなることが期待される。

[引用文献]

¹Cassidy *et al.* 2018, *Nat. Commun.*, **9**, 2839.

²Nakamura 2006, *J. Miner. Petrol. Sci.*, **101**, 178–198.

³奥村ほか 2019, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会.

⁴奥村ほか 2020, 日本鉱物科学会 2020 年年会.

[謝辞] 本研究は、日本科学協会の笹川科学研究助成による助成を受けたものである。