

## Oral presentation | S2: Water Rock Interaction (Special Session)

📅 Thu. Sep 16, 2021 9:30 AM - 12:45 PM JST | Thu. Sep 16, 2021 12:30 AM - 3:45 AM UTC | 🏠 Zoom  
Session 3

**S2: Water Rock Interaction (Special Session)**

Chairperson: Noriyoshi Tsuchiya (Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University)

[Chairperson]

Noriyoshi Tsuchiya: S2-01 - S2-14

9:30 AM - 9:35 AM JST | 12:30 AM - 12:35 AM UTC

[greeting] セッションコンピナー挨拶

---

9:50 AM - 10:05 AM JST | 12:50 AM - 1:05 AM UTC

[S2-02] Weathering and alteration experiments of volcanic ash and pumice in an oxidative environment

\*Nagisa Okabe<sup>2</sup>, Hiroshi Isobe<sup>1</sup> (1. Kumamoto Univ., 2. Kumamoto Univ., Grad. Sch. Sci. Tech)

---

10:05 AM - 10:20 AM JST | 1:05 AM - 1:20 AM UTC

[S2-03] Sr isotopic variation of the CM1A core samples of Oman ophiolite

\*Masako Yoshikawa<sup>1</sup>, Tomoyuki Shibata<sup>1</sup>, Asyraf Mohamed Aminuddin<sup>2</sup>, Ryoko Senda<sup>3</sup>, Tomoaki Morishita<sup>2</sup> (1. Hiroshima Univ., 2. Kanazawa Univ., 3. Kyushu Univ.)

---

10:20 AM - 10:35 AM JST | 1:20 AM - 1:35 AM UTC

[S2-04] Antigorite vein formation and fluid flow in the crust-mantle transition zone in the Oman ophiolite

[Presentation award entry]

\*Kazuki Yoshida<sup>1</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Ryosuke Oyanagi<sup>2</sup>, Masao Kimura<sup>3</sup> (1. Tohoku Univ., 2. Kokushikan Univ., 3. KEK)

---

10:35 AM - 10:50 AM JST | 1:35 AM - 1:50 AM UTC

[S2-05] Submarine and subaerial metamorphism recorded in fluid inclusions of carbonates in Wadi Dima serpentinite, Sultanate of Oman

[Presentation award entry]

\*Tomohiro Inukai<sup>1</sup>, Tatsuhiko Kawamoto<sup>1</sup>, Marguerite Godard<sup>2</sup> (1. Shizuoka Univ. Sci, 2. Montpellier Univ. CNRS)

---

10:50 AM - 11:05 AM JST | 1:50 AM - 2:05 AM UTC

[S2-06] Estimation of vein-permeability structure based on automated characterization of veins in the 3-D X-ray CT core images: Application to the GT sites of the Oman Drilling Project

[Presentation award entry]

\*Yuya Akamatsu<sup>1</sup>, Ikuo Katayama<sup>1</sup>, Keishi Okazaki<sup>2</sup>, Katsuyoshi Michibayashi<sup>3</sup>, The Oman Drilling Project Phase 1 Science Party (1. Hiroshima Univ., 2. JAMSTEC, 3. Nagoya Univ.)

---

11:05 AM - 11:20 AM JST | 2:05 AM - 2:20 AM UTC

[S2-07] Dynamics Rupturing of Hydrothermal Vein Revealed in Ichinokawa Breccia, Central Shikoku

[Presentation award entry]

\*Geri Agroli<sup>1</sup>, Masaoki Uno<sup>1</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup> (1. Tohoku Univ.)

---

11:20 AM - 11:35 AM JST | 2:20 AM - 2:35 AM UTC

休憩

---

11:35 AM - 11:50 AM JST | 2:35 AM - 2:50 AM UTC

[S2-08] Dissolution behaviors of silicate minerals in the presence of chelating agents under alkaline conditions

\*Jiajie Wang<sup>1</sup>, Noriaki Watanabe<sup>1</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup> (1. Tohoku Uni.)

---

11:50 AM - 12:05 PM JST | 2:50 AM - 3:05 AM UTC

[S2-09] Evaluation of dynamics of crustal fracturing and fluid flow revealed by static and petro-equilibrium analyses

\*Diana Mindaleva<sup>1</sup>, Masaoki Uno<sup>1</sup>, Takayoshi Nagaya<sup>2</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup> (1. Tohoku University, 2. The University of Tokyo)

---

12:05 PM - 12:20 PM JST | 3:05 AM - 3:20 AM UTC

[S2-10] Poroelasticity-driven cementation of dehydrating rocks: Implications for dawn-dragged fluids in subduction zones

\*Wakana Fujita<sup>1</sup>, Michihiko Nakamura<sup>1</sup>, Kentaro Uesugi<sup>2</sup> (1. Tohoku Uni. Sci., 2. JASRI)

---

12:20 PM - 12:35 PM JST | 3:20 AM - 3:35 AM UTC

[S2-11] Synthesis of fluid inclusion under moderate hydrothermal conditions and determination of protein

\*XIAOTIAN CHEN<sup>1</sup>, J. Wang<sup>1</sup>, Nobuo Hirano<sup>1</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup> (1. Tohoku Uni. GSES)

---

12:35 PM - 12:45 PM JST | 3:35 AM - 3:45 AM UTC

[greeting] セッションコンビンナー挨拶

Oral presentation

## S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Noriyoshi Tsuchiya (Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University)

Thu. Sep 16, 2021 9:30 AM - 12:45 PM Zoom Session 3

[Chairperson]

Noriyoshi Tsuchiya: S2-01 - S2-14

---

9:30 AM - 9:35 AM

[greeting] セッションコンビンナー挨拶

## 酸化環境における火山灰及び軽石の風化変質実験

岡部風紗 (熊大・院自然), 磯部博志 (熊大)

### Weathering and alteration experiments of volcanic ash and pumice in an oxidative environment

Nagisa Okabe\* (Kumamoto Univ.), Hiroshi Isobe (Kumamoto Univ.)

<背景・目的>地球科学や工学、農学など多くの分野と密接に関係する粘土鉱物は、あらゆる場面で私たちの生活に恵みをもたらす一方で、がけ崩れや地滑りといった自然災害を引き起こす要因の一つでもある。

2018年北海道胆振東部地震や2016年熊本地震の地滑り災害では、すべり面として火山灰や軽石層が報告されており、その多くは風化変質によってハロイサイトを多く含む粘土層と化していたことがわかっている(王ほか 2019; 佐藤ほか 2017)。

そこで本研究では、火山灰及び軽石の地表環境における粘土化の初期過程について議論するべく、未変質に近い試料を用いて酸化環境での風化変質実験を行った。

<手法>試料は桜島火山灰及び阿蘇中央火山口丘第一軽石を用いた。メノウ乳鉢で粉碎し、pH1, 3, 5に調整した硫酸溶液あるいはpH7のイオン交換水とともにテフロン容器に密封して100, 150, 200°Cで10, 35, 120日間水熱反応を行った。100°Cに関してはpH5, 7条件のみ実験を行っている。試料: 溶液は1:10である。溶液には火山ガスの影響を考慮して硫酸溶液を用いた。テフロン容器内が地表環境に近い酸化条件となるよう、MnO<sub>2</sub>を入れた

非密封 AgPd チューブによって酸素分圧をMnO<sub>2</sub>-Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bufferに保った。反応後は自然乾燥させた生成物についてFTIR分析、定方位法によるXRD分析、SEM観察およびEPMA分析を行う。

<結果>FTIR分析の結果、条件によって差はあるが高温・長期間の反応になるにしたがって3600, 3400, 1040cm<sup>-1</sup>付近のピーク面積が増大することがわかった。

またpH1条件では火山灰及び軽石ともに10日時点で3450cm<sup>-1</sup>, 1090cm<sup>-1</sup>に鋭いピークがみられた。さらに火山灰200°C-120日条件のみで3622cm<sup>-1</sup>にピークを確認した。XRD分析でも15Åを中心に幅広いピークがみられたこと、250°Cで3時間加熱後そのピークはほぼ消滅したことから層間にH<sub>2</sub>Oを含むスメクタイト系の粘土鉱物が生成したと考えられる。SEM観察では、軽石pH5, 7-200°C-120日条件においてSi, Alを主体とする繊維状の生成物を確認している。

本研究により、表層環境における低pH条件では軽石より火山灰のほうが風化変質の進行が速い可能性が示された。さらに詳細な解析により、酸化環境における火山噴出物の風化変質挙動について議論する。

Keywords: clay mineral, volcanic ash, pumice, landslide

\*Corresponding author: 204d1402@st.kumamoto-u.ac.jp

## オマーンオフィオライト CM1A 陸上掘削試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比

芳川雅子, 柴田知之 (広島大), Asyraf Mohamed Aminuddin (金沢大学),  
仙田量子(九州大学), 森下知晃 (金沢大)

### Sr isotopic variation of the CM1A core samples of Oman ophiolite

Masako Yoshikawa\*, Tomoyuki Shibata (Hiroshima Univ.),  
Asyraf Mohamed Aminuddin (Kanazawa Univ.), Ryoko Senda (Kyushu Univ.),  
Tomoaki Morishita (Kanazawa Univ.)

地球表面の約7割を占める海洋プレートの実体は、系統的に試料を直接採取することが困難で、未だ不明点が多い。このため、海洋プレート断片だと考えられるオフィオライト岩体の詳細な観察から、海洋プレートの断面やその物理学・化学的特徴が推定されている。世界で最大級(400 km以上)かつ保存の良い海洋プレート断面であるオマーンオフィオライト(例えば, Nicolas et al., 1988)では、国際陸上科学掘削計画のもと複数地点で掘削が行われた。南部 Wadi Tayin ブロック CM1A サイトで採取された掘削試料は全長404.15mで、構成する岩石層の特徴から上位から下位へと以下の4層に区別されている。第I層: 層状斑れい岩卓越層, 第II層: 強蛇紋岩化ダナイト層, 第III層: 部分的蛇紋岩化ダナイト層, 第IV層: ハルツバーガイト卓越層。このうち第II・III層が地殻-マントル遷移層とされる (Tamura et al., 2018; Takazawa et al., 2019)。本研究では19試料について広島大学設置の表面電離型質量分析計でSr同位体( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )比を、融合結合プラズマ質量分析計で希土類元素(REE)を含む微量元素濃度を測定した。また、薄片観察による二次鉱物モード組成から変質度を求めた。

第I層の斑れい岩のSr同位体比・REE組成は上位から下位への系統的な変化は観察されず、組成幅も小さい( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7031 \sim 0.7033$ )。ダナイトのSr同位体比は第I層から第III層へと $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7072$ から0.7039

へと低くなり、第I層のダナイトの軽希土類(LREE)濃度は、Eu以外類似したREE濃度をもつ、第II・III層ダナイトと比べ数倍高い。第I層のダナイトのみ、他の組織を切るマグネタイト脈が観察される。第IV層のハルツバーガイトは非常に広範なREE組成を示すが、Sr同位体比は組成幅が小さく、上位から下位への系統的変化は認められない( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7038 \sim 0.7040$ )。

全岩Sr同位体比と変質度には第I層のダナイトを除き明瞭な正の相関( $R^2=0.94$ )が観察される。このことから、CM1A掘削試料のSr同位体比は変質度に依存していると考えられる。この線形関係から、変質を被っていない試料のSr同位体比を外挿したところ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7030$ であった。この値は、オマーンオフィオライト南部イブラ山塊の新鮮な斑れい岩の値と一致する( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7028 \sim 0.7033$ ; Lanphere et al., 1986; Zhilman et al., 2018)。Kawahata et al. (2001)は100%変質した試料が示すSr同位体比が変質にかかわった熱水と平衡であると仮定し、変質度80%以上のオマーンオフィオライト試料について、熱水のSr同位体比を推測している。同様の方法を用い計算したところ、ダナイト・ハルツバーガイト中を循環した熱水のSr同位体比は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7039 \sim 0.70421$ であった。これらの値はKawahata et al. (2001)が求めた角閃岩相の平均的な高温熱水流体の値( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70413$ )と類似する。

Keywords: Oman drilling project, CM1A site, crust-mantle transition zone,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopic variation

\*Corresponding author: masako@hiroshima-u.ac.jp

オマーンオフィオライト地殻—マントル遷移帯  
におけるアンチゴライト脈形成と流体流動  
吉田一貴 (東北大)・岡本敦 (東北大)・大柳良介 (国士舘大)  
木村正雄 (高エネ研)

Antigorite vein formation and fluid flow  
in the crust-mantle transition zone in the Oman ophiolite

Kazuki Yoshida\* (Tohoku Univ.), Atsushi Okamoto (Tohoku Univ.),  
Ryosuke Oyanagi (Kokushikan Univ.), Masao Kimura (KEK)

Antigorite is high temperature polymorph of serpentine minerals. In contrast to the common occurrence of antigorite within the ultramafic rocks within related to the subduction zone, it is still unclear its formation conditions within the oceanic lithospheres and ophiolites (Cluzel et al., 2020; Roum ejion et al., 2019). In this study, we report the multi-stage serpentinization and novel occurrences of antigorite veins with brucite salvage in completely serpentinized dunite from the crust - mantle transition zone of the Oman ophiolite, taken from Oman Drilling Project drill hole CM1A (Wadi Zeeb, Northern Sharqiyah). Based on the mass balance and thermodynamic consideration, we discuss the time integrated fluid flux during the antigorite vein formation during the obduction of the Oman ophiolite.

Along the hole CM1A, the dunite in the crust-mantle transition zone (160-313 m) is pervasively serpentinized with lizardite + brucite + magnetite (Yoshida et al., 2020). This earlier-stage texture of serpentinite are cut by the distinct antigorite vein networks, that is continuous networks over 100 m by X-ray CT on Chikyuu. Interestingly, the antigorite veins have the salvage of brucite, where enriched in magnetite. The wormhole structure of magnetite shell and antigorite was observed in the reaction zone, which could be act as fluid pathways in the process of forming the reaction zone. The relic of the mesh-like texture of the earlier stage serpentinization were preserved, suggesting the volume-constant replacement during the reaction zone formation. The mass balance relationship indicates the loss of silica and gains of magnesium and water are required to form brucite salvage after lizardite. Given the formation of the antigorite vein with brucite salvage at 350  C and 200 MPa, thermodynamic calculations revealed that (1) pH at reaction front was 5.85 (high compared to neutral pH (= 5.10)), and (2) the time integrated fluid flux is estimated to be  $2.3 \times 10^2 \text{ m}^3(\text{fluids}) / \text{m}^2(\text{rock})$ . Our results suggests that substantial flow of the alkaline fluids occurred through fracture networks at the stage of the obduction of the Oman ophiolite

Keywords: Serpentinization, Oman Ophiolite, Antigorite, Fluid flux

\*Corresponding author: [kazuki.yoshida.t4@dc.tohoku.ac.jp](mailto:kazuki.yoshida.t4@dc.tohoku.ac.jp)

References : Roum ejion, et al. (2019). CMP. 174:60, <https://doi.org/10.1007/s00410-019-1595-1>

Cluzel et al. (2020), Int. J. Earth. Sci. 109:171-196, <https://doi.org/10.1007/s00531-019-01796-6>

Yoshida et al. (2020). J. Geophys. Res. : Solid Earth, 125, 11. <https://doi.org/10.1029/2020JB020268>

# オマーンオフィオライト・ワジディマ蛇紋岩の 炭酸塩中の流体包有物：海洋底と大陸での変成作用

犬飼知宏<sup>1,\*</sup>, 川本竜彦<sup>1</sup>, Godard Marguerite<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 静岡大学・理・地球科学, <sup>2</sup> CNRS, モンペリエ大学, フランス)

## Submarine and subaerial metamorphism recorded in fluid inclusions of carbonates in Wadi Dima serpentinite, Sultanate of Oman

Tomohiro Inukai<sup>1,\*</sup>, Tatsuhiko Kawamoto<sup>1</sup>, Marguerite Godard<sup>2</sup> (<sup>1</sup> Dept Geoscience, Shizuoka Univ., <sup>2</sup> Géosciences Montpellier, CNRS, Univ. Montpellier, France).

We report two groups of fluid inclusions in carbonates in veined serpentinites in Oman ophiolite complex previously studied by Noël et al. (2018, Lithos): saline fluids (2.7% NaCl) in type 1 carbonates that were formed through submarine hydrothermal alteration, and pure water (0.1% NaCl) in type 2 and 3 carbonates that were formed through continental alteration processes.

オマーンオフィオライトの蛇紋岩中に炭酸塩の脈が発達する岩体がある。これまでに炭酸塩の岩石記載、微量成分元素組成と安定同位体比によって、炭酸塩は3つのタイプに分類されている(Noël et al., 2018, Lithos)。彼らの分類に従うと、Type 1 炭酸塩は炭酸塩コアと微細脈からなり、海洋底の変成作用により形成されたものである。Type 2と3 炭酸塩は陸側での変成作用によって形成された脈である。この多世代の炭酸塩が入った岩石試料を2020年1月に行われたオマーンでの野外巡検で川本が採取し、犬飼が産状を記載した上で、炭酸塩中の流体包有物を観察した。

顕微ラマン分光法により、炭酸塩鉱物は主にカルサイトで、数ミクロン程度の気液二相の流体包有物がまれに含まれる。488nmの青色レーザーの照射によるラマンスペクトルは炭酸塩からの蛍光が高く、質のよいスペクトルを取ることは難しいが、流体包有物は水と同定できる。

マイクロサーモメトリー法を用いて、流体包有物中の氷の最終融解温度と均質化温度を測定

した。現在までのところ均質化温度は幅広い温度を示し、200°Cを超えるものもある。Type 2と3 炭酸塩の脈中の流体包有物の塩濃度は $0.1 \pm 0.2$  重量%NaCl 当量( $n=6$ )であるため、真水と考えられる。一方、Type 1 炭酸塩である炭酸塩コアと微細脈中の流体包有物の塩濃度は $2.7 \pm 2.3$  重量%NaCl 当量( $n=5$ )であり、Type 2と3の炭酸塩より高い値を示す。このことはType 1が海洋底での熱水循環による炭酸塩であり、Type 2と3が陸上での変質作用との従来の考え(Noël et al., 2018, Lithos)と整合的である。

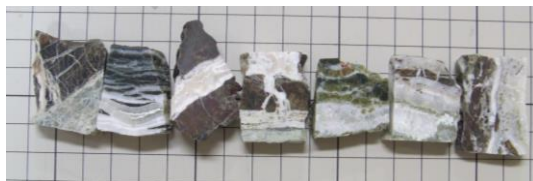


図: 観察している岩石試料のチップ。目で見えるような太い脈は大陸での変成作用による Type 2と3の炭酸塩脈である。

Keywords: carbonization, fluid inclusion, salinity, microthermometry, serpentinite,

\*Corresponding author: inukai.tomohiro.18@shizuoka.ac.jp

# 掘削コア試料 X 線 CT 画像中の脈状鉱物の 自動検出による浸透率構造の推定： オマーン掘削計画 GT サイトへの適用

赤松祐哉\*, 片山郁夫 (広島大), 岡崎啓史 (JAMSTEC), 道林克禎 (名古屋大),  
The Oman Drilling Project Phase 1 Science Party

Estimation of vein-permeability structure based on  
automated characterization of veins in the 3-D X-ray CT core images:  
Application to the GT sites of the Oman Drilling Project

Yuya Akamatsu\*, Ikuo Katayama (Hiroshima Univ.), Keishi Okazaki (JAMSTEC),  
Katsuyoshi Michibayashi (Nagoya Univ.), The Oman Drilling Project Phase 1 Science Party

浸透率は海洋プレート内での水の流れを理解する上で重要な物性であり、岩石内の割れ目の存在に大きく影響を受ける。海底の掘削孔を用いたその場観測により求められる海洋地殻の浸透率は、ミニコア試料を用いた室内実験で測定される値よりも 2-3 桁大きいことが報告されている。これは、実際の海洋地殻内ではマイクロクラックよりも大きいスケールの割れ目が巨視的な流体の移動を支配していることを示唆する。水の流路として機能した割れ目は岩石中に脈状鉱物として保存されるため、脈状鉱物の分布や形状を流体の浸透モデルに適用することで、岩石の浸透率を推定することができる。そこで本研究では、オマーン掘削計画において海洋地殻セクション (GT サイト) で掘削された 3 つのホール (GT1, GT2, GT3) のコア試料 X 線 CT 画像から、コアに含まれる脈状鉱物とその特徴を自動で検出する手法を開発し、コア試料の浸透率構造の推定を行った。

円柱状のコア試料に含まれる平板状の脈状鉱物は、その側面の展開図において正弦波として現れるため、その正弦波を表すパラメ

ータを求めることで、コアに含まれる脈状鉱物を検出することができる。本研究では、CT 値の勾配から脈状鉱物を構成するピクセルを抽出し、ハフ変換を用いて脈状鉱物の形状や方向を決定した。決定された脈状鉱物の開口幅と空隙率から、等価管路モデルを用いてコア試料の浸透率を計算した。各ホールの全長は約 400 m であり、それぞれ約 500 枚の CT 画像を用いて解析を行った。

解析の結果、開口幅が約 1 mm の脈状鉱物または割れ目が各ホールで 1200-1500 本検出された。脈状鉱物は CT 値に基づいて High CT vein (HCT vein) と Low CT vein (LCT vein) の 2 種類に分類され、それらの vein density は各ホールでそれぞれ異なる深さ傾向を示した。LCT vein の浸透率は各ホール全体を通して  $10^{-12}$ - $10^{-11}$  m<sup>2</sup> の値を示した一方で、HCT vein はそれよりも数桁低い値を示した。また、LCT vein と HCT vein の走向・傾斜は互いに高角度で交わる方向に集中しており、海洋地殻において HCT vein と LCT vein の浸透率が異なる異方性をもつ可能性を示唆している。

Key words: vein, permeability, oceanic crust, X-ray CT, The Oman Drilling Project

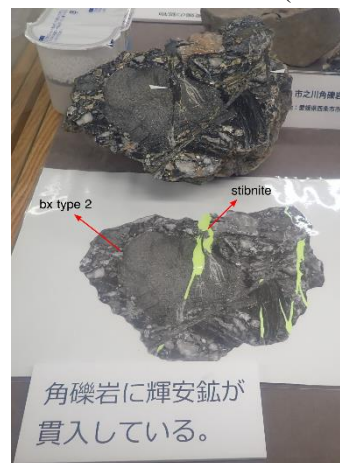
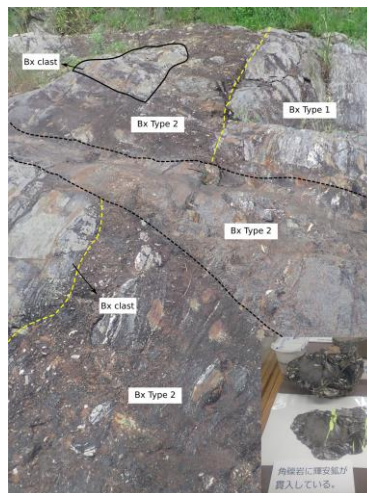
\*Corresponding author: y-akamatsu@hiroshima-u.ac.jp

## Dynamics Rupturing of Hydrothermal Vein Revealed in Ichinokawa Breccia, Central Shikoku

**Gerì Agrolì\***, Masaaki Uno, Atsushi Okamoto, Noriyoshi Tsuchiya  
(Graduated School of Environmental Studies, Tohoku University)

Breccias are distinct and prominent features in the fluid-saturated environment. Recently detailed observation of breccia texture was used as a **new tool** for identifying **paleoseismic slip**, and **fluid velocity** in the rock record. **The Ichinokawa** preserve an excellent record of hydraulic induced brecciation, yet many aspects and the dynamics processes behind brecciation needs further investigation.

Ichinokawa is situated in **Central Shikoku**, which was famous as a stibnite deposit. The pelitic schist of the Sanbagawa metamorphic belt host the deposit and the structural setting is mainly controlled by the **Median Tectonic Line (MTL)** which is located very close to this area. Ichinokawa exhibits massive brecciation phenomena where breccia underpins the formation of stibnite. Field observation shows that **2 types of breccia** occurred in Ichinokawa on the basis of the **particle size distribution (PSD)**. Type 1 consists of monomict breccia with boulder size (>500mm) and is distributed at the bottom of the outcrop. While Type 2 of the



pebble size (2-100mm) polymict breccia concentrated within the pipe or dike ?? with a varying thickness/wide from 5cm to greater 1m. The breccia clast mainly composed of pelitic schist, and quartz. While matrix comprised of rock-flour of ferroan-dolomite, quartz, muscovite, and pyrite.

**Fractal analysis** indicates that there is a **positive correlation** between pipe size and clast diameter. This suggests subsequent fragmentation (communion) occur from bigger clast. Fractal dimension ( $D_s$ ) also indicates the changing of **brecciation energy**, From high energy dilatational breccia (type 1) to lower energy of attrition breccia (type 2).

This is also reflected in the smaller breccia size and continued fragmentation resulting in a more **chaotic** clast texture. The last hydrothermal activity in this area is marked by precipitation of **stibnite** which cut the former two breccia types as veinlet. The stibnite corresponds to the more acid hydrothermal fluid by the presence of **vuggy texture** alongside the vein and host rock.

Keyword: Brecciation, Ichinokawa, Hydrothermal Breccia, Stibnite, Fractal Analysis

\* Corresponding author: [geri@geo.kankyo.tohoku.ac.jp](mailto:geri@geo.kankyo.tohoku.ac.jp)

## キレート剤の存在におけるアルカリ条件下での ケイ酸塩鉱物の溶解挙動

王佳婕\*・渡邊則昭・土屋範芳（東北大・環境）

### Dissolution behaviors of silicate minerals in the presence of chelating agents under alkaline conditions

Jiajie Wang\*, Noriaki Watanabe, Noriyoshi Tsuchiya (GSES, Tohoku Univ.)

The dissolution behaviours of silicate minerals have been considered by a lot of studies in part due to their potential to aid in carbon storage. Acid conditions are usually applied to promote silicate minerals dissolution; however, the dissolution is easily suppressed due to the formation of silica-rich surface layers as a result of the incongruent dissolution of cations and Si. Due to the strong ability to bind metals at acid to alkaline pHs, chelating agents are used in this study to investigate their potential in promoting silicates dissolution under alkaline conditions. The dissolution behaviours of olivine and basalt in the presence of chelating agents N,N-Dicarboxymethyl glutamic acid tetrasodium salt (GLDA) and hydroxyethylethylenediaminetriacetic acid (HEDTA), will be clarified through experiments.

Experimental results found a significant enhancement in olivine and basalt dissolutions in the presence of either GLDA or HEDTA. For instance, the including of 0.3 M GLDA and 0.3 M HEDTA promoted Mg extraction from olivine by 11.3 and 14.6 times in 120 min, respectively; at the same time, Si extractions were also enhanced by ~27 times (Fig. 1). These values can further increase with temperature and reaction time. Moreover, the (Mg+Fe)/Si atomic ratios in extraction solutions with chelating agents were lower, for instance, 1.74 in 0.3 M GLDA solution, while that in Milli-Q water extraction solution was 3.96 (Fig. 2). The low (Mg+Fe)/Si ratio may suggest the suppressed formation of silica-rich layers, which is consistent with SEM observation that Si was not enriched on the surface of the mineral after reacting with GLDA.

Basalt dissolution experiments suggest that GLDA and HEDTA have favoured different elements extractions. GLDA has a better performance in extracting Ca and Si than HEDTA, while HEDTA is more suitable for Mg, Al and Fe extraction. Therefore, a mixture of GDTA and HEDTA solution with certain ratios is suggested for basalt dissolution. No significant changes in mineral compositions during extraction process using chelating agents implies the simultaneous consumption of minerals in basalt, i.e., pyroxene, feldspar, olivine, etc.

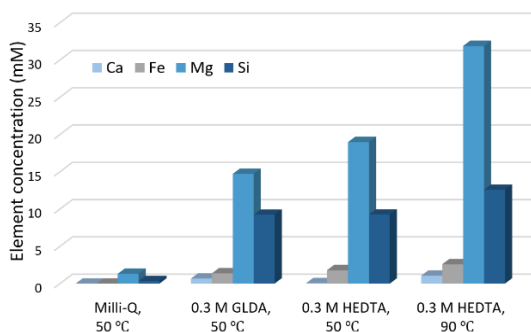


Fig. 1 Fluid chemical compositions after reacting with olivine for 120 min at various conditions (pH=9).

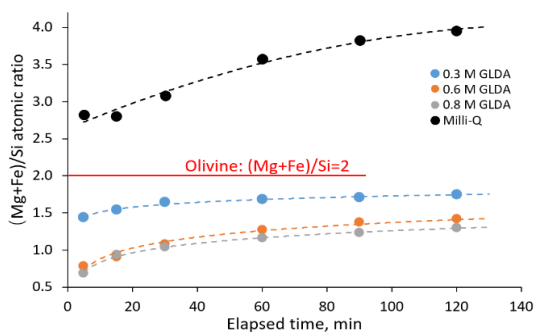


Fig. 2 (Mg+Fe)/Si ratio in solution after reacting with Milli-Q water or GLDA solutions (50 °C, 120 min, pH=9).

Keywords: silicate minerals, dissolution, chelating agent, alkaline condition

\*Corresponding author: wang.jiajie.e4@tohoku.ac.jp

## Evaluation of dynamics of crustal fracturing and fluid flow revealed by static and petro-equilibrium analyses.

Diana Mindaleva\* (Tohoku University), Masaaki Uno (Tohoku University),

Takayoshi Nagaya (The University of Tokyo), Noriyoshi Tsuchiya (Tohoku University)

Fluid flow in the crust promote hydration reactions, and changes rheology of rocks. Fluid pressure rise cause rock fracturing and permeability enhancement allowing fluid infiltration. Such fluid activity is related to shear fracturing and can possibly induce earthquakes generation (e.g., Katsumata and Kamaya, 2003; Obara et al., 2004). However, quantitative constraints on fluid fluxes associated with shear fracturing are limited, particularly regarding its temporal and spatial heterogeneity. Therefore, it is important to estimate amount of fluid fluxes to understand roles of fluids in earthquakes triggering. We constrain fluid fluxes by thermodynamic modeling of fluid chemistry in the metamorphic fluid-rock reaction zones and discuss their relation to potential seismic events based on shear fracturing evidence.

We investigated reaction zones in hydrated metamorphic rocks samples from the Mefjell and Brattnipene Sør Rondane Mountains (SRM), East Antarctica. Several amphibolite- and granulite-facies (0.3–0.65 GPa, 400–740°C) millimeter-scale hydration zones provide information on duration and hydraulic parameters of fluid infiltration. Here we analyse samples underwent rapid hydration (~10 h) and permeability evolution from low-permeable ( $\sim 10^{-22}$ – $10^{-20}$  m<sup>2</sup>) to highly-permeable rocks ( $\sim 10^{-9}$ – $10^{-8}$  m<sup>2</sup>) related to crustal fracturing at depths around 10–20 km (Mindaleva et al., 2020). We used these estimations to calculate fluid fluxes in the reaction zones and through the fracture.

We present new methodology based on alteration processes in the reaction zone estimating the fluid volume required to induce fluid-driven seismic activity via coupled reactive-transport modelling and thermodynamic analyses. To evaluate the moment magnitude of potential seismic events we apply two approaches, based on estimated fluid volumes ( $10^2$  to  $10^4$  m<sup>3</sup>) and on the shear fractures characteristics, such as slip geometry. We find that moment magnitudes, short fluid infiltration timescales (~10 h) are comparable to some tremor and/or slow-slip events within continental crust. Our observation corresponds to the depth of ~10–20 km, and are shallower than source region of tremor and slow-slip events (~plate interface depth). Thus, we conclude that large amount of fluid transported over short timescales through the single fracture may be widespread mechanism to generate crustal fracturing and induce seismic activity above source regions of tremor and slow slip events in the lower–middle crust. References: Katsumata, Akio, and Noriko Kamaya. Geophysical Research Letters 30.1 (2003): 20-1. Obara, Kazushige, et al. Geophysical Research Letters 31.23 (2004).

Mindaleva, Diana, et al. Lithos 372 (2020): 105521.

Keywords: fluid flux, hydration reaction, reaction zone, crustal fracturing

\*Corresponding author: [diana@geo.kankyo.tohoku.ac.jp](mailto:diana@geo.kankyo.tohoku.ac.jp)

## ポロエラスティシティによる脱水分解した岩石の膠結作用：流体沈み込みへの応用

藤田和果奈\* (東北大), 中村美千彦 (東北大), 上杉健太郎 (JASRI)

### Poroelasticity-driven cementation of dehydrating rocks: Implications for dawn-dragged fluids in subduction zones

Wakana Fujita, \* Michihiko Nakamura (Earth Sci., Tohoku U.), Kentaro Uesugi (SPring-8, JASRI)

**背景・目的：**超臨界水やマグマといった結晶粒間に分布する流体相の岩石からの分離は普遍的な地球科学現象である。流体は連結したネットワークを形成する場合、浮力と岩石の圧密によって分離する一方で、多くの岩石では連結の流路が切れて浸透率が事実上0になる臨界空隙率が存在する。臨界空隙率以下、すなわち非排水系において緻密な岩石が形成されるメカニズムは分かっていない。本研究では、高温高压下・流体に富む条件で非常に緻密な石英多結晶体を合成することに成功し、緻密化のメカニズムを考察した。またその数理モデルを立て、沈み込み帯において間隙流体が深部に持ち込まれる条件を推定した。

**手法：**ピストンシリンダー型高压発生装置を用い、1 GPa・900°Cで石英多結晶体を合成した。流体のCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O比はX<sub>CO2</sub>=0-0.47、流体体積分率は1.9-18vol.%とした。実験産物のSPring-8でのX線CT撮影と電子顕微鏡観察結果から、幅広い条件で、カプセルスケールでの流体量の不均質が形成されたり、流体の大部分が外部に吐き出され緻密な石英多結晶体を生成したりした。緻密化方向は

カプセルの温度勾配とは無関係であったことから、この現象は非排水系岩石のporoelasticityに由来する流体圧差に駆動されたシリカの溶解析出作用であると推定し、発生する流体圧の不均質を見積もった。最後にセメンテーションの時間発展をモデル化し、実験結果と比較することで溶解したシリカの拡散流束を見積り、拡散係数を計算した。

**結果：**得られた拡散係数は、H<sub>2</sub>O流体の中のシリカの拡散係数よりも1.3-1.8桁低く、緻密な石英粒界におけるSiの拡散係数よりは7桁ほど高い結果となった。これは流体量不均質に伴う間隙流体圧勾配によって効率的なシリカの移動が起ったことを示す。沈み込み帯においてporoelasticityにより静岩圧の約1%の流体圧差が生じると仮定すると、深さ100 kmまでに沈み込む間に、温度に応じて数cm-数mスケールで流体分離と緻密化が起きうることが分かった。これ以下の流体分布の不均質構造は緻密化によって均され、分離した流体は連結した流路を形成して効率的に抜ける可能性が示唆された。

Keyword: quartzite, cementation, poroelasticity, subduction zone

\*Corresponding author: w.fujita@dc.tohoku.ac.jp

## 流体包有物の合成とタンパク質の検出に関する基礎的検討

陳嘯天・王佳婕・平野 伸夫・土屋範芳（東北大・院・環境）

### Synthesis of fluid inclusion under moderate hydrothermal conditions and determination of protein

X. Chen, J. Wang, N. Hirano, N. Tsuchiya

(Graduate School of Environmental Studies, Tohoku Univ.)

岩石中には流体包有物と呼ばれる岩石の周囲の液体もしくは気体を取り込まれた相が存在する。その岩石中の包有物内に閉じ込められた古細菌あるいはタンパク質を確認する必要があります。本研究は人工流体包有物を作ることによって、タンパク質を封入する可能性と条件を検証した。生化学物質としてウシアルブミン溶液を使用し、低温水熱条件下においてアルブミンを含む流体包有物の作成を試みた。

実験はパイプ型オートクレーブ（L：180 mm， $\phi$ ：10 mm）を使用する。まず、試料として、石英片（3 mm×3 mm×7 mm）を400℃で2時間加熱した後、急冷してき裂を発生させた（図1）。次にオートクレーブ内にき裂を発生させた石英片と反応溶液として流体包有物の元となる250 mg/ml ウシアルブミン溶液、さらに反応を起こしやすくするために石英粉末を入れ、両端を溶接して密閉した。オートクレーブを充填率95（ $\pm$ 1）%の状況で125℃加熱した。反応時間は4及び8日間とし、反応後は石英片試料による顕微鏡観察を行った（図1）。

図2から、赤枠内に示すように試料には流体包有物が確認された。このことから、反応溶液がタンパク質溶液であっても低温水熱条件下において流体包有物が生成可能であるといえる。

実験結果は、8日間の低温水熱加熱後に流体包有物を形成できるが、4日間では形成できないことを示しており、この方法の実現可

能性を証明している。実験中観察された流体包有物のサイズは6.5～8.5  $\mu$ mである。さらに、この研究では、調製した流体包有物からウシ血清アルブミンを抽出し、その定量計測を予定している。

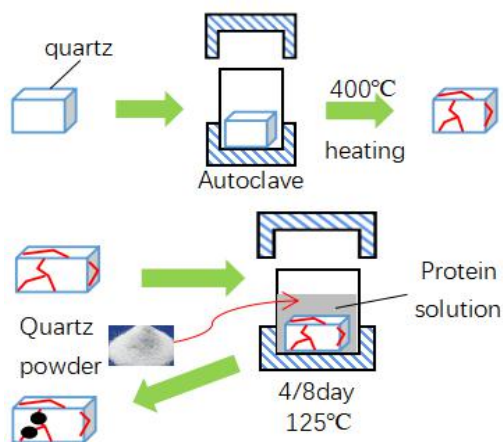


図1 流体包有物の合成方法



図2 流体包有物（8日）

Oral presentation

## S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Noriyoshi Tsuchiya (Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University)

Thu. Sep 16, 2021 9:30 AM - 12:45 PM Zoom Session 3

[Chairperson]

Noriyoshi Tsuchiya: S2-01 - S2-14

---

12:35 PM - 12:45 PM

[greeting]セッションコンビンナー挨拶