

岩石—流体反応が駆動する地圏環境システム

Geo-environmental systems driven by fluid-rock reactions



教授 岡本 敦
Professor
Atsushi Okamoto



助教 宇野 正起
Assistant Professor
Masaaki Uno



研究員 ダンダル オトゴンバイル
Researcher
Dandar Otgonbayar



Group Photo

地圏環境において流体は化学反応や物質・エネルギー移動を促進し、岩石—流体反応はグローバルな物質循環、表層環境、資源形成など、人間社会にも大きな影響を与える。当研究室では、地殻やマントルにおける「流体」を介した岩石の反応やエネルギー・物質移動に着目し、超臨界地熱資源や熱水性鉱床の開発に向けた基礎研究、水や二酸化炭素の固定・循環プロセスとその有効利用、断層・亀裂での鉱物溶解・析出、地震と流体の関係などについての研究を進めている。さらに、多次元化学組成と複雑な空間構造（組織）で特徴づけられる地圏物質（岩石や流体）を対象として、データ駆動型解析や数値モデリングを行い、地圏環境における動的システムの情報抽出を試みている。

In the geo-environments, fluids facilitate chemical reactions and mass and energy transfer, and fluid–rock reactions have a significant effect on human society, including global geochemical cycles, surface environments, and resource formation. In our laboratory, we focus on the reaction of rocks and energy as well as mass transfer through “fluids” in the crust and mantle and conduct fundamental research on the development of supercritical geothermal resources and hydrothermal deposits, and H₂O and CO₂ fixation and circulation processes as well as their effective utilization. In addition, we examine the mineral dissolution and precipitation in faults and fractures and the relations between fluid and earthquakes. Furthermore, we are attempting to extract information on dynamic systems in geo-environments through data-driven analyses and numerical modeling of geo-environmental materials (rocks and fluids) that are characterized by multidimensional chemical composition and complex spatial structure (textures).

超臨界地熱資源の地化学および熱水性鉱床の形成

超臨界流体資源を持続的に開発・利用していくためには、地熱流体の地化学的性質を評価する必要がある。本年度は、低密度領域における溶存種の熱力学的データを地化学計算ソフトに実装し、地熱流体の減圧、冷却過程によるモデリングを行い、腐食性の低 pH 流体の生成機構を明らかにした。また、深成岩体周辺において、斜長石粒子にマイクロスケールの空隙が存在することを見出した。室内実験により、特徴的な流体が関与する長石の熱水変質により空隙が形成することを明らかにし、超臨界地熱貯留層における流体の新しい存在様式を示唆した (Fig.1)。

黒鉱鉱床のチムニーに産する両錐形の石英粒子の形状や流体包物の解析を行い、海底において 300°C 以上の熱水が毎秒数 cm—数十 cm の速度で噴出したことを明らかにした。さらに、熱水噴出孔を模擬した流通式析出実験を進め、上昇する流体の中で、シリカ粒子が形成し、浮遊しながら成長し、石英粒子へと変化する過程を明らかにした。

[受賞] 杉岡純平 (修士課程 1年) JpGU 学生優秀発表賞 2021 年 6 月 6 日

Geochemistry of supercritical geothermal resources and formation of hydrothermal ore deposits

For sustainable development and utilization of supercritical fluid resources, it is necessary to evaluate geochemical properties of geothermal fluids. In 2021, we implemented the thermodynamic data of dissolved species in the low-density region into the geochemical calculation software, modeled the fluid chemistry during depressurization and cooling, and clarified the formation mechanism of corrosive low-pH fluids. We also found a large amount of microporosities in plagioclase grains around a plutonic body. Laboratory experiments revealed the porosities are formed by hydrothermal alteration of feldspar under certain fluid chemistries, suggesting a new mode of fluid existence in supercritical geothermal reservoirs (Fig.1).

We have analyzed the shape of bipyramidal quartz particles and fluid inclusions in the chimney of the black ore deposit and have found that hydrothermal fluids above 300°C were ejected at the seafloor at a rate of several cm/s to several tens of cm/s. In addition, we conducted hydrothermal flow-through experiments simulating a hydrothermal vent and clarified the processes of silica particle formation, growth, and transformation into quartz particles in the ascending fluids. [Award: J. Sugioka (M1) JpGU Best Student Presentation Award, June 6, 2021.]

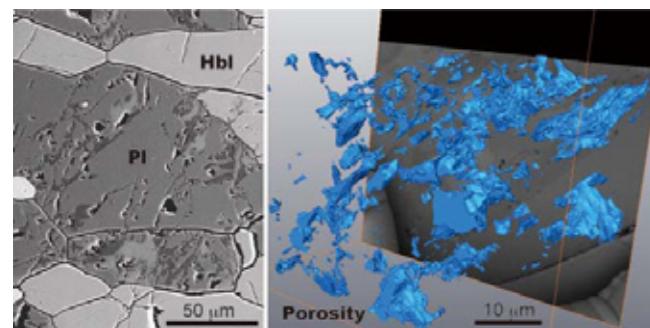


Fig.1 Porosity generation during the replacement of feldspar in metamorphic rocks in the Kinkasan Island. Right = BSE image, Left = FIB-SEM.

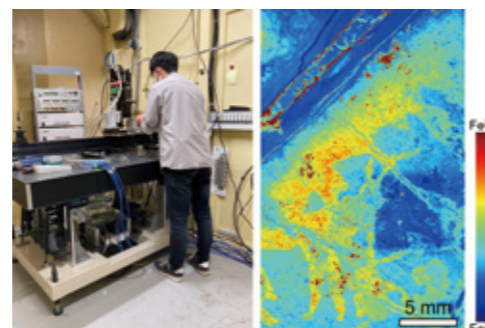


Fig.2 XAFS analyses at KEK (Tsukuba), and Fe³⁺/Fe²⁺ map of serpentinite from the Oman ophiolite.

水や二酸化炭素の岩石への固定化プロセス

岩石への水や二酸化炭素の固定化は、グローバルな物質循環や表層環境に大きな影響を与える重要なプロセスである。本年度は、「しんかい 6500」の小笠原海溝の潜航調査で得られたマントル岩石の同位体分析から、海水が数万年かけて循環することで二酸化炭素を固定化することを明らかにした。また沈み込み帯深部から上昇した三波川変成帯のマントル岩石の解析から、沈み込み帯でのマントルウェッジの二酸化炭素の起源と固定化プロセスを明らかにし、スロー地震に関与している可能性を示唆した。

[プレスリリース] 2021 年 8 月 3 日、2021 年 12 月 3 日

また、流体（水や二酸化炭素）を吸収する反応が、空隙の少ない地下でどのように持続的に進むかは明らかではなかった。アナログ物質の MgO 焼結体を用いた吸水反応—透水実験により、岩石—流体反応によって岩石が破壊し、流体の流れが促進することを実験室で実証した。これにより、二酸化炭素を地下へ効率的に固定するための技術への応用が期待される。

[プレスリリース] 2022 年 1 月 18 日

岩石—流体反応に伴う物質移動とエネルギー発生

岩石—流体相互作用は、大きな物質移動を伴う。オマーンオフィオライトの鉱物脈周囲の反応帯の解析により、マントルに熱水が流れてシリカが溶脱するプロセスから流体移動のタイムスケールを推定した。また、マントルの変質による水素エネルギー生成条件を海洋底岩石と実験生成物の Fe(III) のマッピングと磁気測定により、温度やシリカによる影響を明らかにしている (Fig.2)。

昨年度開発した、玄武岩化学組成データを学習させた機械学習モデルを海洋底変質岩や沈み込み帯変成岩に適用し、特定の反応時期に大量の物質移動が起こっていることを明らかにした (Fig.4)。

[受賞] 田中修平 (修士課程 1年) 地球惑星科学連合大会学生優秀発表賞 2021 年 6 月 6 日、日本地質学会優秀ポスター賞 2021 年 9 月 4 日、吉田一貴 (博士課程 1年) 日本鉱物科学会 研究発表優秀賞 2021 年 9 月 18 日



Fig.3 Field excursion of the Sanbagawa belt, Shikoku (Aug. 2021).

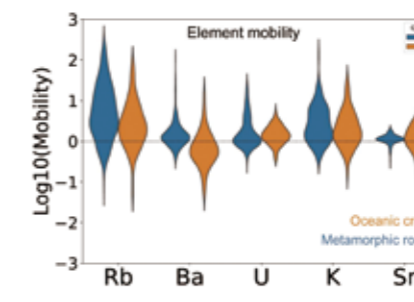


Fig.4 Analyses of element transport of oceanic crust and metamorphic rocks revealed by machine-learning approaches.

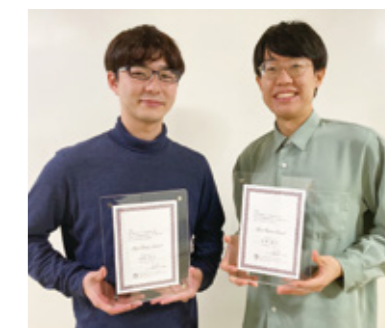


Fig.5 Best Poster Award at the 3rd Academic Forum on Environmental Studies (Nov. 2021, Matsuno (M2), Sugioka (M1)).