

東北大学大学院理学研究科地学専攻 高橋 菜緒子

沈み込み帯流体の化学的性質：高温高圧下における鉱物の溶解度と溶存化学種に関する実験的研究

日本列島のようなプレート沈み込み帯において、地球内部に向かって沈み込んでゆくプレート（スラブ）から放出される水を主成分とした超臨界流体は、スラブ直上のマントルと島弧火山の岩石の化学組成に多様性を生み、固体地球の化学的進化に重要な役割を担っています。既存の岩石に化学変化をもたらす交代作用など流体が関与する沈み込み帯の地質現象や地球物理学観測を定量的に解釈するためには、超臨界流体と共存する岩石との相互作用の結果生じる流体の物理化学的性質を明らかにする必要があります。しかしながら、地球表層付近の流体と比べて、地殻深部及び上部マントルに相当する温度圧力条件下で岩石と平衡に存在する流体の組成などの化学的性質の理解は未だに確立されていません。

本研究は、沈み込み帯深部領域に存在する超臨界流体の化学的特性を明らかにするため、外熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いた高温高圧下におけるその場観察にラマン分光法を組み合わせた実験手法の確立を行い、地殻を構成する岩石に普遍的に含まれる石英 (SiO_2) とルチル (TiO_2) の流体への溶解挙動を調べました。特に、沈み込みスラブを構成する玄武岩質の海洋地殻やそれを覆う堆積物と化学的に平衡状態にある流体が炭素や硫黄などを含む多成分系でアルカリ性であることに着目し、複雑な組成を持つ水流体への溶解挙動を最大約 1000 °C、約 2 GPa 条件での実験によって解明することを試みました。外熱式ダイヤモンドアンビルセルによって模擬した高温高圧環境下で Na_2CO_3 及び NaOH 水溶液中の石英溶解度測定を複数の温度・圧力・溶液濃度条件で行った結果、上記のアルカリ性水溶液に対する石英の溶解度は従来の単純な中性種やイオン種を考慮した熱力学モデルによる予測よりも高いことが明らかとなりました。さらに、石英飽和流体中の珪酸塩構造を捉えたラマンスペクトルを系統的に解析した結果、温度圧力と流体中の珪酸塩濃度の変化に伴う珪酸塩溶存化学種の変化を見出し、高温高圧下でも珪酸塩重合種の脱プロトン化やアルカリ金属元素との複合体形成が起きる可能性を示しました。これらの結果は、岩石を構成する主要成分である珪酸塩の溶解及び珪酸塩に富むスラブ流体を媒介とした金属元素輸送の機構についての理解を深め、沈み込み帯前弧下部地殻に観測される石英異常濃集帯や高压変成岩に観測される珪酸塩交代作用の定量的な見積りに寄与するものです (Takahashi et al., 2022)。さらに、高温高圧条件下における多様なナトリウム塩水溶液へのルチル溶解度を調べたところ、ナトリウム塩 (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 , NaF) 数 ~ 十数 wt% の純水への添加が、ルチル溶解度を最大で一桁増加させることが明らかになりました。見出された溶解度が変化する条件は、プレート沈み込み帯深部の環境における水流体を媒介としたチタンの移動が流体の pH または錯体を形成する配位子の存在度により制御される可能性を示し、天然の島弧火山岩や高压変成岩に観測されるチタンの移動濃集の見かけの多様性について解釈を与えます。

上述の外熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いた実験的研究に加え、副課題としてスラブ由来流体から直接晶出したと考えられる米国カリフォルニア州ニュードリヤ蛇紋岩体産のひすい輝石岩の地球化学的研究を行いました。ひすい輝石岩脈が形成した複数のイベントをカソードルミネッセンス像で判別した上で、ひすい輝石の微量元素濃度とリチウム同位体比の測定にレーザーアブレーション多重検出器型誘導結合プラズマ質量分析装置による局所（直径 70–100 μm ）分析法を応用しました。詳細な組織観察に基づいた局所分析によって、従来の全岩分析では確認することが不可能であった数百 μm スケールのリチウム同位体比とリチウム濃度の大きな変化幅が見出されました。この同位体比と濃度の関係からマスバランス計算によって、脈状翡翠形成時の岩石-水流体相互作用の証拠を突き止め、初生的なスラブ流体のリチウム同位体比を見出しました (Takahashi et al., 2017, 2018)。

文献

- [1] [Takahashi N.](#), Tsujimori T., Kamada S., Nakamura M. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **2022**, 177, 36.
- [2] [Takahashi N.](#), Tsujimori T., Kayama M., Nishido H. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **2017**, 112, 291–299.
- [3] [Takahashi N.](#), Tsujimori T., Chang Q., Kimura J.-I. *Lithos*, **2018**, 318–319, 376–385.