

高温高压実験による下部マントル鉱物への希ガス貯蔵の解明

High-pressure and high-temperature experimental study on noble gas incorporation into lower mantle minerals

早稲田大学 飯塚 理子



私たちが暮らす地球・宇宙には、ヘリウムやネオン、アルゴン、キセノンなどの希ガスが存在する。これらの元素は他の元素とほとんど反応しないため、地球が誕生してから現在に至るまでの物質循環や大気進化を記録する「トレーサー」として利用されている。一方で、キセノンだけは予測される量よりも大気中に著しく少ないことが知られており、この「ミッシングキセノン問題」は地球科学における最大の未解決問題の一つとなっている。その有力な仮説として、失われたキセノンが地球深部の下部マントルやコアに閉じ込められている可能性が提案されている（例えば、Shcheka and Keppler, 2012; Rosa et al. 2019）が、どの鉱物・金属相がどの程度希ガスを保持できるのかはいまだに分かっていない。

地球深部は人類が直接観測できないため、この仮説を検証することは容易ではない。本研究では、ダイヤモンドアンビルセルを用いた高温高压実験によって、地下約 700～2700 km に相当する下部マントル環境を再現し、放射光 X 線回折を用いた高压下その場観察により下部マントル鉱物の結晶構造変化を調べた。高温高压実験の後、回収した数十 μm という極微小試料から希ガスを抽出し、超高感度希ガス同位体質量分析によって定量することが可能である。高温高压実験、放射光を用いた量子ビーム科学、希ガスの焦点を当てた地球化学という異なる研究分野を融合し、地球深部の揮発性元素循環を実験的に解明することが本研究の特徴である。

研究対象には、下部マントルの第 3 の主要鉱物であるカルシウムペロブスカイト ($\text{CaSiO}_3\text{-pv}$) を選び、25～50 GPa の高压・高温条件で希ガスとの反応実験を行った。その結果、アルゴンをを用いた実験では結晶構造の顕著な変化は認められず、多量の希ガスを取り込む可能性は低いことが示唆された。一方、水を含む条件では結晶構造に変化が現れ、この研究を進めていく過程で未知の含水 CaSiO_3 相を発見した。この相は高压下でも安定に存在する可能性があり、新たな水の貯蔵相となる可能性を秘めている。さらに、高温高压実験で得られた微小試料についても、従来は困難であった希ガス量を直接評価できるようになり、「地球深部鉱物がどれだけ希ガスを保持できるか」を実験的に明らかにする基盤を構築した。

私は、地球深部における希ガスの貯蔵機構の解明にとどまらず、「地球深部では元素はどのように振る舞うのか」という根源的な問いに、高温高压実験と最先端の分析技術を組み合わせ、直接見ることのできない地球深部を実験によって再現することで挑戦している。今後も、含水鉱物や他の下部マントル鉱物へ研究を展開し、希ガス・水・炭素などを含む揮発性元素の循環を統一的に理解することで、岩石惑星の内部進化へとつながる普遍的な理解を目指し、新しい実験地球科学を切り拓いていきたい。

【キーワード】 下部マントル・放射光 X 線その場観察・希ガス

【参考文献】

- Shcheka and Keppler (2012) The origin of the terrestrial noble-gas signature. *Nature* 490, 531–534.
- Rosa et al. (2019) Krypton storage capacity of the Earth's lower mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.* 532, 116032.