PR0027

太陽系物質の酸素同位体進化における、非晶質ケイ酸塩–CO 間の酸素同位体交換反応の役割

○山本大貴[1]、川崎教行[2]、橘省吾[3]、石崎梨理[2]、櫻井亮輔[3]、圦本尚義[2]
（[1]九州大学、[2]北海道大学、[3]東京大学）

始原的太陽系物質の酸素同位体組成は、質量非依存型の同位体分別を示す。これは、異なる酸素同位体組成を持つ 3 つの主要な酸素同位体リザーバー (原始的固体物質、^{16}O に富む CO、^{16}O に乏しい H_2O) 間の酸素同位体交換に起因する可能性がある (e.g., Yurimoto & Kuramoto)。初期太陽系の主要な始原的固体物質に、非晶質ケイ酸塩がある。Yamamoto et al. (2018, 2020) では、非晶質ケイ酸塩-H_2O ガス間の酸素同位体交換速度を実験的に決定した。また H_2O-CO 間の酸素同位体速度論は先行研究 (Alexander, 2004; Lyons et al., 2009) により議論されている。しかし、非晶質ケイ酸塩-CO 間の酸素同位体交換に関しては、未だ理解が不十分である。本研究では、太陽系物質の酸素同位体進化の包括的理解を目指し、フォルステライト (Mg_2SiO_4) 組成の非晶質ケイ酸塩 (非晶質フォルステライト) と低圧 CO ガスとの酸素同位体交換実験をおこなった。

本研究では、真空加熱炉を用いて、非晶質フォルステライト粒子と $C^{18}O$ ガス (>95 atom% ^{18}O) との酸素同位体交換実験を P_{CO} = 0.05, 0.3, 1 Pa、温度 643–883 K で実施した。酸素同位体組成分析には、二次イオン質量分析装置 (Cameca ims-1280HRå) を用いた。

低圧 CO ガスとの酸素同位体交換速度は、高温 (753–883 K) において、粒子表面への CO 分子供給量が律速し、表面での同位体交換効率 β は H_2O ガスに対して 2–3 桁小さい。この違いは、難揮発性包有物 CAI メルトにおける CO と H_2O 分子間の β の違いに良く一致する (Yamamoto et al., 2021, 2022)。このことは、異なる組成を持つ非晶質ケイ酸塩やコンドリュールメルトも同様の反応性の違いを呈する可能性を示唆する。また低温 (643–703 K) での同位体交換率の時間変化から、粒子内部の拡散プロセスが同位体交換速度を律速している可能性がある。得られた拡散係数 D やその温度依存性は、H_2O ガスとの同位体交換実験 (Yamamoto et al., 2018) から得られたものとは異なることから、CO ガス独自の拡散種が関与していると言える。D の低い活性化エネルギー (~42 kJ mol^{-1}) から、粒子表面で乖離した酸素原子が拡散種である可能性が示された。

上記の速度論データから、非晶質ケイ酸塩と CO、H_2O ガスとの酸素同位体交換は、CO-H_2O ガス間の同位体交換速度よりも圧倒的に速く進行するがわかった。このことは、非晶質ケイ酸塩ダストが CO、H_2O 両ガスと同位体交換をすることによって、非晶質ケイ酸塩-CO-H_2O 系の同位体平衡を促進する触媒として働くことを示す。非晶質ケイ酸塩の結晶化は、酸素同位体交換反応を阻害する可能性があるが、直径 100 nm サイズの粒子においては、Ishizaki et al. (2023 *LPSC* proceedings) の円盤での粒子移動を考慮した化学反応モデルから、結晶化に先行して非晶質ケイ酸塩の酸素同位体交換が極めて低温で起こることで、非晶質ケイ酸塩-CO-H_2O 系の同位体平衡が達成されることがわかった。

The role of oxygen isotope exchange between amorphous silicate and CO gas in the oxygen isotopic evolution of Solar System materials

*D. Yamamoto[1], N. Kawasaki[2], S. Tachibana[3], L. Ishizaki[3], R. Sakurai[3], H. Yurimoto[2] ([1]Kyushu Univ., [2]Hokkaido Univ., [3]Univ. Of Tokyo)