

高圧下における金属鉄と珪酸塩メルトの間の Ga、Ge 分配実験

Metal/silicate partitioning of Ga and Ge at high pressure

川添 貴章[1], 大谷 栄治[1]

Takaaki Kawazoe[1], Eiji Ohtani[2]

[1] 東北大、理、地球物質科学

[1] Mineralogy, Petrology, and Economic Geology, Tohoku Univ, [2] Institute of Mineralogy, Petrology, and Economic Geology, Tohoku University

マントルにおける Ga、Ge 存在度は Mg と Cl コンドライトでマントル存在度を規格化した場合、Ga で約一桁、Ge で約二桁小さい。この枯渇の要因として核形成によるものと集積物質における枯渇が挙げられる。本研究では高温高圧下において金属鉄と珪酸塩メルト間の Ga、Ge の分配実験を行った。その結果、3GPa、1450 °Cにおいて Ga の分配係数の酸素分圧依存性を確認することができた。またこれは Richter and Drake (2000) において提唱された関係式と調和的である。これに基づくとマントルにおける Ga 存在度の枯渇はおもにこの元素の揮発性による集積物質中での枯渇によって説明することができる。

初期地球における核形成過程としてマグマオーシャンにおいて金属鉄がマグマから分離し、その金属鉄がマントル中を沈降することによって核を形成するモデルが考えられている。このモデルではマグマから分離した金属鉄がマントル中を沈降する前にマグマオーシャンの底部に溜まり、その金属鉄がマグマと化学平衡に達したと考えられる。そのためマントル存在度は核形成過程がどのようなものであったかを議論する上で重要な制約を与える。このとき化学平衡に達した元素の中でも特に親鉄元素は、それらのマントル存在度がマグマオーシャンの状態や地球へ集積した物質の組成を反映しているために重要である。マグマオーシャンの深さやどのような物質が地球に集積したかを見積もるために、高圧下でのマグマと金属鉄間における親鉄元素の分配実験が行われてきた。

今回の研究では高温高圧下において Ga、Ge の分配実験を行った。マントルにおける Ga、Ge 存在度は不揮発性の親石元素である Mg と Cl コンドライトでマントル存在度を規格化して比較した場合、不揮発性の親石元素に比べて Ga で約一桁、Ge で約二桁小さい。この枯渇には二つの過程が考えられる。一つは核形成過程においてこれらの元素が親鉄性をもつために分離した金属鉄に濃集する。その金属鉄が核に沈降するためにマントルから Ga、Ge が取り除かれ、それらがマントルにおいて枯渇するというものである。もう一つはこれらの元素がその揮発性のために地球へ集積した物質において Cl コンドライトに比べて相対的に枯渇し、そのためマントルにおける Ga、Ge 存在度が Cl コンドライトに比べて枯渇するというものである。そのため地球へ集積した物質の組成と核形成過程の関連性を知る上でこれらの分配係数を測定することは重要である。

出発物質には珪酸塩成分として合成した 7 成分系の玄武岩組成の粉末試料に Ga 酸化物と Ge 酸化物の粉末試料を加えたものを用いた。これをカプセルとして用いた金属鉄と平衡状態にすることにより、金属鉄と玄武岩メルトとの間の分配実験を行った。高圧発生装置には東北大理学部設置の MA-8 型マルチアンビルを用い、3GPa、1450 °C の条件で実験を行った。実験後の回収試料の組成分析には波長分散型 EPMA を用い、酸素分圧には熱力学的考察によって求められた実際の酸素分圧と IW バッファーとの差 $\Delta IW = \log f_{O_2} - \log f_{O_2} (IW)$ を用いた。

その結果、3GPa、1450 °C の条件下で、固体金属鉄と玄武岩メルトの間における分配係数は、酸素分圧が $\Delta IW = -1.23$ のときには、 $D(Ga) = 4.71 \pm 0.32$ 、 $D(Ge) > 104$ であり、酸素分圧が $\Delta IW = -2.21$ のときには、 $D(Ga) = 30.2 \pm 14.1$ 、 $D(Ge) > 128$ であった。これによって同一温度圧力条件下において酸素分圧が大きいほど、Ga の分配係数が小さくなるという、Ga の分配係数の酸素分圧依存性を確認することができた。これは酸素分圧が大きくなると珪酸塩メルトに親鉄元素の存在量が大きくなるということであり、核形成過程において金属鉄とマグマが平衡に達したときの酸素分圧の程度によって、マントルにおける Ga 存在度が変化し得ることを表している。今回得られた分配係数は Richter and Drake (2000) において提唱された Ga の分配係数に関する関係式と調和的である。今回の Ga の分配係数の値に基づくとマントルにおける Ga 存在度の枯渇は核形成によって生じた枯渇では説明することはできず、おもにこの元素の揮発性による集積物質中での枯渇によって説明される。