

ボヘミア山塊のザクロ石橄欖岩に見られる単斜輝石巨晶の微量元素組成分析と熱履歴への示唆

Trace-element analyses of clinopyroxene megacryst in garnet lherzolites from the Bohemian Massif

苗村 康輔^{1*}, 平島崇男², 牧賢志², 小澤一仁¹, 平田岳史²

Kosuke Naemura^{1*}, Takao Hirajima², Kenshi Maki², Kazuhito Ozawa¹, Takeshi Hirata²

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 京都大学大学院理学研究科 地質学鉱物学教室

¹Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, ²Department of Geology and Mineralogy, Faculty of sciences, Kyoto University

大陸衝突帯に産する高圧/超高压変成岩中にはマントル由来のザクロ石橄欖岩が普遍的に見られる。これまでザクロ石橄欖岩の起源として(1)高温のスピネル橄欖岩から圧力上昇・温度低下により相転移した説 (Medaris et al., 2005; Lithos, 82, 1-23)、(2)蛇紋岩や緑泥石橄欖岩から累進変成作用によって相転移したとする説 (Naemura et al., 2009; J. Petrol., 22, 593-603) の2説が提案されてきた。この論争を解決するために、本研究では新たに見いだした単斜輝石巨晶 (cm サイズ) を用いてザクロ石橄欖岩の「温度圧力履歴」の再検討を行った。

研究対象はチェコ共和国・ボヘミア山塊南部の2地点に見られる数メートル規模のザクロ石橄欖岩体 {Lom pod Libinem (LPL) 地域と Plesovice (PQ) 地域} であり、レンズ状・層状の橄欖岩が花崗岩質の高温・高圧グラニュライト中に産出する。先行研究からこれらのザクロ石橄欖岩の高圧鉱物共生はザクロ石 + カンラン石 + 斜方輝石 + 単斜輝石 ± クロムスピネル ± 金雲母 ± 角閃石で構成され、その平衡条件はそれぞれ、1020 C/2.5 GPa・940 C/2.9 GPa (± 90 C/0.6 GPa) と推定されている (Medaris et al., 2005, Naemura et al., 2009)。これらのザクロ石橄欖岩共生は減圧時にスピネル橄欖岩共生 (770 C/1.5 GPa ± 70 C/0.5 GPa) に部分的に置換されている

今回微量元素分析を行った単斜輝石巨晶の粒径は約 1~3cm であり、周囲を比較的細粒 (mm-size) のザクロ石橄欖岩共生で取り囲まれている。この単斜輝石巨晶は、プレブ状・ラメラ状の Ca 角閃石に加えて、金雲母、カンラン石、斜方輝石、アパタイト、± ferrite chromite (YCr^{0.8}; YFe₃₊>0.05)、± ハットン石 (ThSiO₄) などを包有している。LPL 地域から採集した 3 cm 大の単斜輝石では、結晶中心部で Al₂O₃ や Na₂O に乏しい (それぞれ、1.0 wt. %, 0.8 wt. %) が、包有物に富むマントル部を境にして Al₂O₃ が急激に増大し、Na₂O も若干増加する (それぞれ、2.0wt. %, 1.2 wt. %)。最外縁部のリムでは Al₂O₃ がさらに増大し、Na₂O が減少する (それぞれ、3.0 wt. %, 0.8 wt. %)。CaO 量はコアからマントルに向かってやや減少している (約 22.0 ~ 20.5 wt.%)。この単斜輝石巨晶の微量元素組成分析を行った結果、ストロンチウム、鉛、LRE 元素に富み、HFS 元素に極めて乏しく、流体の関与を示唆する。希土類元素について見ると、結晶コア部では REE 量全体が乏しく LREE/HREE 勾配はやや緩やかである {(Yb/Gd)N=9 ± 5} (コンドライト規格化)。このような REE・Al・Na に乏しい単斜輝石は比較的低温で形成された緑泥石かんらん岩の単斜輝石に特徴的に見られる。その外側のマントル部では LREE に比べて HREE の枯渇が顕著となり {(Yb/Gd)N=17 ± 4}、HREE に富むザクロ石との共存を示唆する。リム部は REE 全体に富み勾配が再び緩やかとなり {(Yb/Gd)N=7 ± 2}、ザクロ石分解によるスピネルかんらん岩相での再平衡を示唆する。

一方、PQ 地域から採集した約 7 mm 径の単斜輝石は、結晶中心部で Al₂O₃、Cr₂O₃、Na₂O に乏しく (それぞれ 2.0 wt. %, 0.5 wt.%, 1.2 wt. %)、リムに向かって増大する (それぞれ 3.6 wt. %, 0.8 wt.%, 1.9 wt. %)。またコアからリムに向かって CaO が減少する (22.0 wt. % ~ 20.0 wt. %)。この PQ 地域の単斜輝石巨晶の微量元素分析からも鉛・Sr・LRE 元素に富み、HFS 元素に乏しい傾向から流体の関与が示唆される。この巨晶リム部付近の希土類元素パターンは比較的急勾配を示し {(Yb/Gd)N=20 ± 6}、ザクロ石と共存したと考えられる。リム部でザクロ石と共存しているが、これはかんらん岩が減圧期の再平衡を免れている (ザクロ石のケリファイト化程度が低い) などの特徴と一致する。

以上の情報に基づいて、ボヘミア山塊南部のザクロ石橄欖岩の初期熱履歴の復元を試みる。まず、LPL 地域ではアルミに乏しい単斜輝石巨晶コア部は緑泥石橄欖岩相の鉱物共生で安定であったことが示唆される。アルミに乏しい化学組成から、単斜輝石巨晶コア部は低温の緑泥石橄欖岩 (T > 700 C) で安定であり、この低温鉱物組み合わせが加熱履歴を経験して、高圧のザクロ石橄欖岩に相転移したと考えられる。一方、PQ 地域ではアルミに乏しい単斜輝石巨晶コア部はすでにザクロ石と安定に存在しており、リム部で起きているチェルマック成分の増加は昇温もしくは減圧を示唆する。

結論として、ボヘミア産ザクロ石橄欖岩の中には、ザクロ石カンラン岩相以前に比較的低温の緑泥石橄欖岩由来のものが存在し、それらがバリスカン期の衝突運動による沈み込み運動で温度圧力が増大した結果ザクロ石橄欖岩に相転移したと考えられる。

キーワード: 造山型橄欖岩, 大陸衝突, ボヘミア山塊, 沈み込み, 単斜輝石巨晶

Keywords: orogenic peridotite, continental collision, Bohemian massif, subduction, clinopyroxene megacryst