

論文内容の要旨

Isotopic study of noble gas and structure analysis on olivines from kimberlite

(希ガス同位体と構造解析に基づいたキンバーライト中のオリビンの研究)

橋 由里香

1. 研究の背景と意義

キンバーライトは、ダイヤモンドやカンラン岩ノジュールを含む超苦鉄質の噴出岩である。その産地はクラトンの断裂隆起帯に沿って分布し、噴出年代は6億年前以降のものが大半である。キンバーライトのマグマソースの生成深度は未解決であり、ダイヤモンドの形成の温度圧力条件から地下150 km以下であるとされるが、地下2900 kmまで未だ諸説ある(Dawson, 1972, Smith, 1983, Ringwood, 1992 等)。深いマントル起源を示唆する先行研究としては、ブラジル産キンバーライト中のダイヤモンドに入っているガーネット・インクルージョンから下部マントル起源が示唆されうるという報告もあった(Harte, 1994 等)。もし、揮発性成分とREEに富むキンバーライトが上部マントル起源物質であるMORBよりも深いマントル起源であれば、地球の内部状態を知る上での鍵として大いに期待ができる。

キンバーライトは、その固体同位体組成($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ と $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)等からグループ I・グループ II に分類され(Smith, 1983)、グループ I キンバーライトが OIB の領域やバルクアースの位置とほぼ同じ値を示すのに対して、グループ II キンバーライトはエンリッチな物質の影響が強く見られることから二次的な影響をより受けていると考えられている。よってグループ I が、キンバーライト本来のソースマテリアルの特徴を示していると考えられている。しかし、グループ I キンバーライトが OIB 様のソースマテリアルを持つかについては、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ と $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の組成では「OIB 様の物質」と「上部マントル起源の物質と地殻物質のミキシング」の見分けがつかない。そこで、上部マントル起源の物質とそれより深いマントル起源の物質で明らかに異なる値を示す $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を用いることが有用である。

$^3\text{He}/^4\text{He}$ 比では、MORB 様の物質は世界中でほぼ均一の値である $8 \pm 1\text{R}/\text{Ra}$ を示し、MORB 様の物質よりも高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を示す物質は、地球上では現在までに OIB 様の物質でしか報告されていない。

本研究では、西グリーンランド産のキンバーライト中のオリビンから、OIB 様の上部マントルより深いソースに匹敵する高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を持つことを初めて示した。また、希ガス分析に用いるキンバーライト中のオリビンについて、化学分析や構造解析（主に Fe の M1 サイトと M2 サイトへの依存性）も併せて行い、キンバーライト中のオリビンについて総合的な見地を得ることを試みた。

2. 試料

キンバーライトのソースマテリアルを決定するには、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の値を MORB や OIB と比較することが有用であることは以前から知られていたにもかかわらず、今までほとんど研究されてこなかった。その理由は、キンバーライトは一般に風化や変質がひどく、また地下水等の二次的な影響を多大に受けているため、ソースマテリアルの希ガス情報が効果的に取り出すことができなかつたことにある。そこで本研究では、細心の注意を払って試料を吟味した。使用した試料は西グリーンランド (Sarfartoq、噴出年代 600Ma) 産と南グリーンランド (Pyramidefjeld、噴出年代 200Ma) 産で、シルから採集されたことから、風化や変質はほとんど見られなかつた。さらに、ハンドピッキングと酸処理によって、新鮮なオリビンのみを取り出した。また、キンバーライトでは 10mm を超えるようなオリビンはほぼ確実にゼノクリストであるとみなされているので、数 cm の大きさの南アフリカ (Monastery、噴出年代 90Ma) 産のオリビン・メガクリストについても、西・南グリーンランド産のキンバーライト中のオリビンと同様の希ガス分析・化学分析・構造解析を行い、結果を比較した。

3. 実験

希ガス同位体分析には希ガス用質量分析装置を用いた。測定方法には破砕法と熔融法があるが、結晶中の ^{235}U ・ ^{238}U ・ ^{232}Th や ^{40}K の放射壊変による ^4He や ^{40}Ar の付加、宇宙線の影響による ^3He の付加の影響を最小限にするために破砕法を用いた。また、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比だけでなく、他の希ガス同位体比 ($^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 、 $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 、 $^{129}\text{Xe}/^{132}\text{Xe}$ 、 $^{136}\text{Xe}/^{132}\text{Xe}$ 等) も測定し、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の結果と矛盾がないかを考察した。構造解析には、4 軸型 X 線回折装置を用いた。希ガス分析に用いたそれぞれの試料からオリビンの単結晶を複数個取り出して構造解析し、生成の温度圧力条件に依存する鉄の M1・M2 サイト依存性を探った。また、EPMA や蛍光 X 線による化学分析も試みた。EPMA は、同じ試料の中での組成比の分布や違う試料との組成比の相違や類似性を通して、希ガス分析の結果と比較したり、X 線構造解析の結果の有用性についての議論に用いたりするために行った。蛍光 X 線分析では、主要元素と、希ガス分析で ^4He や ^{40}Ar の付加の原因となる U、Th、K の量の見積もりを行った。

4. 結果と考察

希ガス同位体分析では、西グリーンランドの試料のうち WGR-1・WGR-6・WGR-9 からすべて $15\text{R}/\text{Ra}$ 以上、最高で $26.6 \pm 1.04\text{R}/\text{Ra}$ ($1\text{R}/\text{Ra}$ は大気中の $^3\text{He}/^4\text{He}$) という高い $^3\text{He}/^4\text{He}$

比が測定された。上部マントル起源の場合、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は MORB に代表されるように、 $8 \pm 1 \text{ R/Ra}$ とほぼ一樣な値を示し、地殻物質はそれよりさらに低い値を示す。MORB より高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は OIB のようなマントルプルーム起源のものしか示さず、特に 30R/Ra 近い値は、ハワイやアイスランドなどごく限られた地域でしか見られない。西グリーンランド産の一部や南グリーンランド産のキンバーライト中のオリビンでは MORB と同様かそれよりも低い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を示す試料もあったが、そのような試料は ^4He の量が多く、また、 ^{40}Ar の量も多いので、radiogenic components の影響を受けたと考えられ、キンバーライトソース本来の特徴を示していないと考えられる。Xe、Ne の同位体比の値も、このソースが OIB 様の起源を持つことに矛盾しなかった。一方、南アフリカ産のオリビン・メガクリストは、MORB と同様かやや低い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が測定された。この値はサブコンチネンタル・マントルゼノリスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の値の傾向とほぼ同じであるため、これらはゼノリスとしてキンバーライト・マグマに混入した可能性が高いと考えられる。

化学分析からは、キンバーライト・マグマ本来の性質を反映していると思われる西グリーンランドの試料 (WGR-1・WGR-6・WGR-9) では、 $\text{MgO} / \text{MgO} + \text{FeO}$ や MnO と NiO の組成比において同様の傾向が見られた。また、U や Th の量については西グリーンランド産の試料では radiogenic components の影響が強いと思われるサンプル (WGR-12・WGR-15) においてより多く測定されたが、同様に radiogenic components の影響が強いと思われる南グリーンランド産の試料では顕著な量は測定されなかった。また、K の量については明らかな傾向は見られなかった。今回、測定に用いた西・南グリーンランド産の試料は、元来、キンバーライトの状態を表す指標として用いられてきた C.I (contamination index = $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{MgO} + 2\text{K}_2\text{O})$) で見ると、すべての試料において contamination がないという結果が出た。しかし、希ガス測定の結果と併せ見ることで、C.I. では希ガスや incompatible element の contamination という観点が見積もれず、限界があることが示された。4 軸 X 線回折装置での構造解析では、キンバーライト・マグマ本来の性質を示していると思われる西グリーンランドのサンプルでは、Fe の量の増加とともに M2 サイト依存性が強くなり、また κ_D は減少する傾向があることが示された。