

XANES によるケイ酸塩ガラスの酸化還元状態の決定：小笠原諸島に産するボニナイトの例

XANES study on the redox state of silicate glasses in: a preliminary result for boninites from Ogasawara Islands, Japan

石橋 秀巳^{1*}, 小竹 翔子¹, 鍵 裕之¹

Hidemi Ishibashi^{1*}, Shoko Odake¹, Hiroyuki Kagi¹

¹ 東京大学・院理・地殻化学実験施設

¹Geochemical Research Center, Univ. Tokyo

島弧マン틀の酸化還元状態は、地球化学的な興味の対象であるだけでなく、マン틀ウェッジ内での物質循環や島弧マグマの形成の過程について理解するうえでも重要な要素である。マン틀ゼノリスに関する先行研究では、他のテクトニックセッティングと比べて、島弧マン틀がより酸化していることが示唆され、この酸化している性質が沈み込み流体の影響のせいであると提案された。しかし、マン틀ウェッジ内の部分溶融領域が実際に酸化しているかどうかは自明ではない。なぜなら、マン틀ゼノリスのほとんどは冷たく硬いリソスフェアの破片であり、しばしば低温での再平衡や流体の浸透の証拠を示すことから、部分溶融時の状態を記録していないと考えられるためである。また、仮に島弧マン틀の部分溶融領域が酸化していたとしても、その酸化している性質に果たす沈み込み流体の役割についても未だ明らかになっていない。

島弧マグマは、その起源マン틀の酸化還元状態およびこれに及ぼす沈み込み流体の影響に関する情報を保持する唯一の物質といえるであろう。中でもボニナイトは、これらを明らかにするにおいて最も適した試料と考えられる。その理由のひとつは、ボニナイトが未分化で、その形成場からの上昇過程での変質が最小と考えられることである。もうひとつの理由は、ボニナイトが、沈み込み流体の影響を強く受けた含水マン틀の部分溶融で形成されると考えられることである。それ故に、ボニナイトマグマの酸化還元状態は、上記の問題を解くうえでの重要な鍵となると期待できる。

ケイ酸塩ガラス中のFeの価数状態は、酸化還元状態の敏感な指標であることが一般に知られており、一方でFe K-edge XANES (X線吸収端近傍微細構造) スペクトルの pre-edge 領域の特徴とも良い相関を示すことが示されている。そこで本研究では、ボニナイト中に含まれるケイ酸塩ガラスの酸化還元状態を、Fe K-edge XANES 分析によって決定した。本研究では、小笠原諸島の父島・ムコ島に産するボニナイト枕状溶岩3試料について、高エネルギー加速器研究機構 Photon Factory のビームライン 4A に設置されたマイクロ XANES 測定装置を用いて分析を行った。この装置では、ミクロンオーダーの解像度での XANES 微小領域分析が可能である。比較のために、キラウエア火山のパホエホエ溶岩中のガラスについても分析を行った。ケイ酸塩ガラスの Fe K-edge XANES の pre-edge feature では、7112eV および 7114eV 付近に中心をもつ2つのピークが一般にみられ(それぞれピーク1およびピーク2とよぶ)、それぞれ Fe²⁺ および Fe³⁺ の吸収に起因する。ピーク1に対するピーク2の相対強度は、Fe³⁺/Fe²⁺ 比の増加に伴って大きくなるので、この相対強度はガラスの酸化還元状態の良い指標となる。本研究では、Cottrell et al. (2009) によって求められた、玄武岩質ガラスについての相対強度と fO₂ の関係から、試料の酸化還元状態を見積もった。

今回、試料ごとに石基ガラスを数点ずつ測定したが、XANES スペクトルの観点で、いずれの試料についても石基ガラスの不均質は見られなかった。キラウエアパホエホエ溶岩中のガラスについては、QMF (QMF バッファーからの log fO₂ 値のズレ) ~ +0.2 の値が得られた。この結果は先行研究と照らし合わせても妥当な結果といえ、この手法の信頼性を示唆している。一方、ボニナイト中のガラスについて得られた QMF は、父島の試料が +0.7、ムコ島の2試料が +0.5 と +1.3 であった。ケイ長質ガラスのピーク1に対するピーク2の相対強度が、同じ Fe³⁺/Fe²⁺ 比の玄武岩質ガラスと比べて大きいことを考慮すると、この見積もられた酸化還元状態は酸化側の上限で、実際はより還元的であると考えられる。さらに、オリビン・輝石の結晶化はケイ酸塩メルトをわずかに酸化させ、マグマ上昇過程での H₂O の脱ガスはメルトの fO₂ にほとんど影響を及ぼさないことから、初生的なボニナイトメルト(とその起源マン틀)の酸化還元状態は、沈み込み流体の影響を強く受けたにもかかわらず、少なくとも見積もられた値よりも還元的(ほぼ QMF バッファー付近)であったと推定される。この結果は、ボニナイト形成に関わった沈み込み流体が、マン틀の酸化還元状態にあまり影響を及ぼしていないであろうことを示唆する。

キーワード: XANES, 島弧マン틀, ボニナイト, 酸化還元状態, 酸素フュガシティー, ケイ酸塩ガラス

Keywords: XANES, arc mantle, boninite, redox state, oxygen fugacity, silicate glass