

XAFS 法による火星地殻生成時の酸素分圧の解明

Clarification of the oxygen fugacity during the Martian crustal formation based on XAFS

中田亮一^{1,*}¹海洋研究開発機構高知コア研究所, 〒783-8502 南国市物部乙 200Ryoichi NAKADA¹¹Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC, Monobe 200, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan

1 はじめに

マグマの酸化還元状態はマグマから晶出および気化する相の組成および安定性を支配し、起源となったマンツルの組成や分化過程についての情報を与える。火星内部の進化は火星隕石の分析から推察され、火星マグマの酸素フガシティー(fO_2)は主に Fe-Ti 酸化鉱物の相平衡^[1,2]や, V, Cr, Eu など酸化還元で敏感な元素の分配^[3,4]を基に議論されてきた。しかし、これらの手法は平衡状態での議論であるため結晶化の初期および最終段階の fO_2 が反映されない。加えて、酸素分圧の推定は共存鉱物種の組み合わせに基づいて間接的に行われてきたが、鉱物の存在割合は急冷時に平衡であったとは限らないため、本研究では XAFS 法を用いて直接的に酸素分圧の推定を試みる。

火星隕石に XAFS 法を用いる研究は近年行われるようになってきているが、その多くは特定の鉱物を対象にしている。しかし、鉱物中での元素の価数はほぼ決まっており、酸化還元状態を正しく反映しているとは限らないため、本研究では非晶質ガラスを測定対象とする。また、本研究では、かんらん石中のガラス包有物と石基の局所 X 線吸収端近傍構造 (μ -XANES) 分析を行う。かんらん石中のガラス包有物はマグマからの晶出過程の初期段階の方法を保持している一方で、石基は晶出最終段階の情報を保持していることから、マグマ進化に伴う fO_2 変化を議論する。

2 実験

本研究では、最も始原的で、かつ閉鎖系で進化した初生メルト組成を保持していると考えられているシャーゴッタイト(Yamato 980459: Y98)を用いた^[5]。V-K 吸収端 XANES を ALS BL 10.3.2 で、Fe-K 吸収端 XANES を PF BL-4A で分析した。また、金属鉄および Y98 ガラス組成を模擬した合成ガラス試料の Fe-K 吸収端 XANES を PF BL-12C で、Y98 隕石中のかんらん石および輝石の局所 XANES を PF BL-15A1 で測定した。

3 結果および考察

分析点の決定に先立って、試料位置を操作させることにより蛍光 X 線マップを取得した。この際、同一分析点で V-K 吸収端 XANES および Fe-K 吸収端 XANES を行うため、ALS BL10.3.2 と PF BL-4A で共に 5 μ m ステップの幅でマップを取得した。

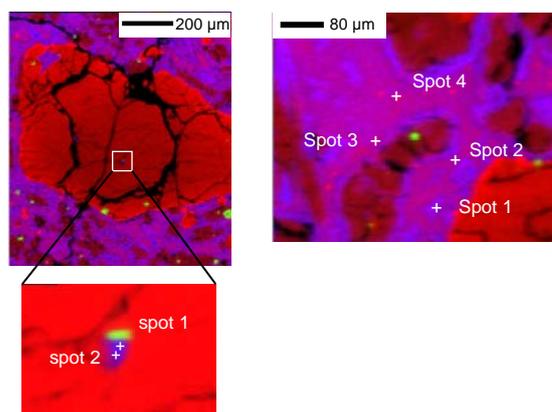
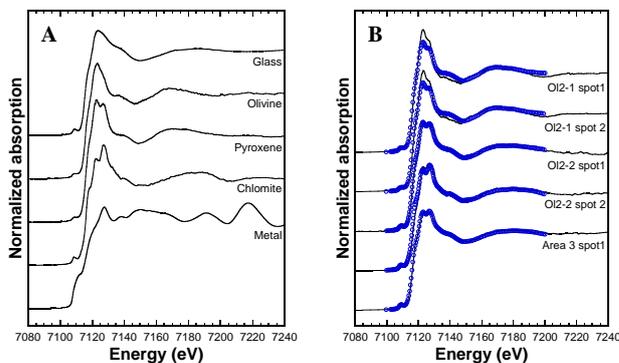


図 1. Y98 隕石の Fe(赤), Cr(緑), Ca(青)蛍光 X 線マップ。左はかんらん石中のガラス包有物で、右は石基ガラス。

本研究ではかんらん石中のガラス包有物と石基を局所分析しているが、Fe-K 端 XANES ではクロマイトもしくは輝石に特徴的な吸収ピークが数点で観察された(図 2)。



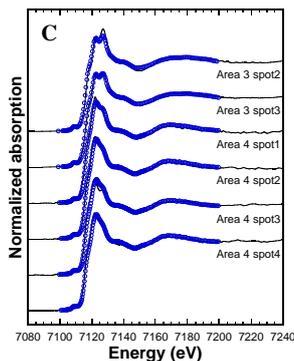


図 2. 標準物質(A)および Y98 ガラス(B, C)の Fe-K 吸収端 XANES スペクトル. 青丸はフィッティング結果.

ガラス包有物では隣接するクロマイト粒子の影響が考えられる. 一方で石基では dendritic 構造中に極微小な輝石粒子が存在し影響している可能性がある.

かんらん石中のガラス包有物の V 価数は 3.11~3.34 であり, 石基では 3.28~3.65 であった. Fe の価数は V と良く相関しており, ガラス包有物で 1.85~2.01, 石基で 1.90~2.36 であった. ガラス包有物 7 点の平均 fO_2 は IW-0.1 であり, 石基 9 点の平均 fO_2 は IW+0.8 であった. この結果は先行研究で求められた Y98 の fO_2 (IW±0~+1) と調和的である一方, ガラス包有物と石基の間で明瞭な fO_2 の増加が認められた. 本研究で明らかとなった結晶化初期(ガラス包有物)から最終段階(石基)にかけての fO_2 進化はこれまでに Y98 では報告されていないものであり, また他の液相濃集元素に枯渇したシャーゴットイト隕石でもこれほどの fO_2 進化は報告されていない. これまで, 液相濃集元素に富んだシャーゴットイトでは地殻の同化作用や異なるマグマの混合, さらにマントル不均質によって fO_2 進化が説明されてきた. しかし, Y98 が閉鎖系で進化したことを鑑みると, マグマの分別結晶及び上昇過程においても IW-0.1 から IW+0.8 ほどの fO_2 の増加が生じることが本研究によって明らかになった.

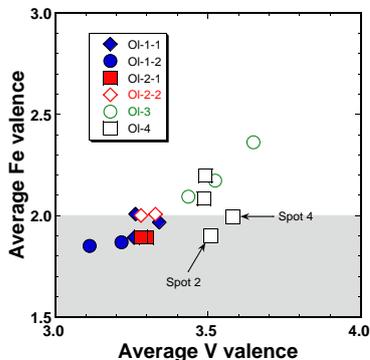


図 3. Fe 及び V の平均価数.

地球の中央海嶺玄武岩の場合, メルト包有物と石基との間に Fe の価数変化が報告されていない⁶⁾. こ

の違として, 地球の場合は海洋プレートの沈み込みによって酸化的な物質が上部マントルに供給されることや, 地球の下部マントルで生じる $3Fe^{2+} \rightarrow Fe^0 + 2Fe^{3+}$ の酸素ポンプ⁷⁾が火星で駆動していないことなどが考えられる. いずれにせよ, 火星マントルは地球と比較して還元的であるために, 上昇過程でマグマの酸化が生じると考えられる. 本研究の結果は, 局所 XANES 分析を最も始原的な火星隕石に適用したことによって得られたものであり, 火星内部進化の考察に大きく貢献すると期待される.

4 まとめ

Y98 火星隕石の V-K 吸収端および Fe-K 吸収端 XANES 分析より, 液相濃集元素に枯渇した始原的なシャーゴットイト隕石においてもマグマの分別結晶及び上昇過程においても IW-0.1 から IW+0.8 ほどの fO_2 の増加が生じることが本研究によって明らかになった. この結果は火星内部進化の考察に大きく貢献すると期待される.

参考文献

- [1] Stolper E. and McSween Jr. H.Y. (1979) *Geochim. Cosmochim. Acta* **43**, 1475-1498.
- [2] Steele I. M. and Smith J. V. (1982) *J. Geophys. Res.* **87**, A375-A384.
- [3] Wadhwa M. (2001) *Science* **291**, 1527-1530.
- [4] Herd C. D. K. et al. (2002) *Geochim. Cosmochim. Acta* **66**, 2025-2036.
- [5] Usui T. et al. (2008) *Geochim. Cosmochim. Acta* **72**, 1711-1730.
- [6] Kelley A. and Cottrell E. (2009) *Science* **325**, 605-607.
- [7] Wood B. J. et al. (2006) *Nature* **441**, 825-833.

* nakadar@jamstec.go.jp