

論文内容の要旨

論文題目：

Relative comparison of the redox states of shergottites and HED meteorites as inferred from iron micro-XANES measurement of maskelynite and plagioclase

(マスケリナイトおよび斜長石を対象としたマイクロ XANES 分析による
シャーゴットイトおよび HED 隕石の酸化還元状態の比較)

氏名 佐竹 渉

1. イントロダクション

酸素分圧は、形成される鉱物の組み合わせや化学組成に強い影響を与えることから、火成岩の形成環境について重要な情報を持っており、これまで様々な手法で見積もられてきた。例えば、地球の上部マントルの酸素分圧は $\log fO_2 = \text{QFM} - 3 \sim +1$ と幅広い値をもち不均質であると報告されている (Ballhaus 1993)。しかし、他天体においては試料を入手する事自体が困難であり、希望する場所の岩石を入手する事ができないため、試料数が少なく酸素分圧の議論はあまり行われていない。特に、酸素分圧を調べる主な手法として用いられる鉄チタン酸化物酸素分圧計を用いることのできる試料は非常に少ない。

そこで本研究は、斜長石とマスケリナイト (斜長石が強い衝撃を受けガラス化したもの) 中の鉄の価数を、放射光 Fe マイクロ XANES (X 線吸収端近傍構造) を新しく用いて分析することで、これまで分析が困難だった他天体の酸素分圧を相対的に評価した。本研究では、地球の約半分の大きさである火星と、小惑星帯で 3 番目に大きい小惑星ベスタに注目した。これら二つの天体は、それぞれ分化を経験した惑星であり、惑星の物質進化を地球と比較するにおいて非常に重要な位置にあると考えられる。

2. 手法

研究手法としては、偏光顕微鏡による観察、EPMA (JEOL JXA-8900L) による鉱物組成分析、放射光マイクロ XANES 分析 (高エネ研、PF、BL-4A) によるマスケリナイト及び斜長石中の鉄の 2 価 3 価比の測定を行った。また、酸素分圧をコントロールした電気炉で斜長石の合成実験を行い、結晶化時の酸素分圧が明らかである斜長石の

試料を得た。

3. 火星

火星においては、火星隕石最大のグループであるシャーゴッタイトに注目した。シャーゴッタイトは軽希土類元素の含有量によって、軽希土類元素が欠乏している Depleted、中間的な値を持つ Intermediate、富んでいる Enriched の 3 種類に分類され (Borg et al. 1997)、さらに Depleted なものは還元的マグマ起源、Enriched なものは酸化的マグマ起源だと言う事が明らかにされている (Herd et al. 2002)。このような地球化学的特徴と酸素分圧の研究から、Intermediate シャーゴッタイトのソースは、Depleted なものと Enriched なものの混合によりできたと考えられている (Borg and Draper. 2003)。しかし、先述したとおり酸素分圧が求められている試料数は少ないため、2 つのソースの混合によるものかは議論の余地がある。そこで本研究では、14 個の試料を分析し、Intermediate シャーゴッタイトが 2 つのソースの混合で出来たかどうかを調べた。なお、14 個のうち 6 個はこれまで酸素分圧が見積もられていない試料である。

その結果、Intermediate シャーゴッタイトは鉄 3 価の割合が 13~66%と幅広い値を持つことが明らかになった (図 1)。幅広い値を取ることから、Intermediate シャーゴッタイトは Enriched であるマントルソースと Depleted であるマントルソースの単純な混合では成因が説明できず、別の種類のマントルソースの存在が明らかになった。

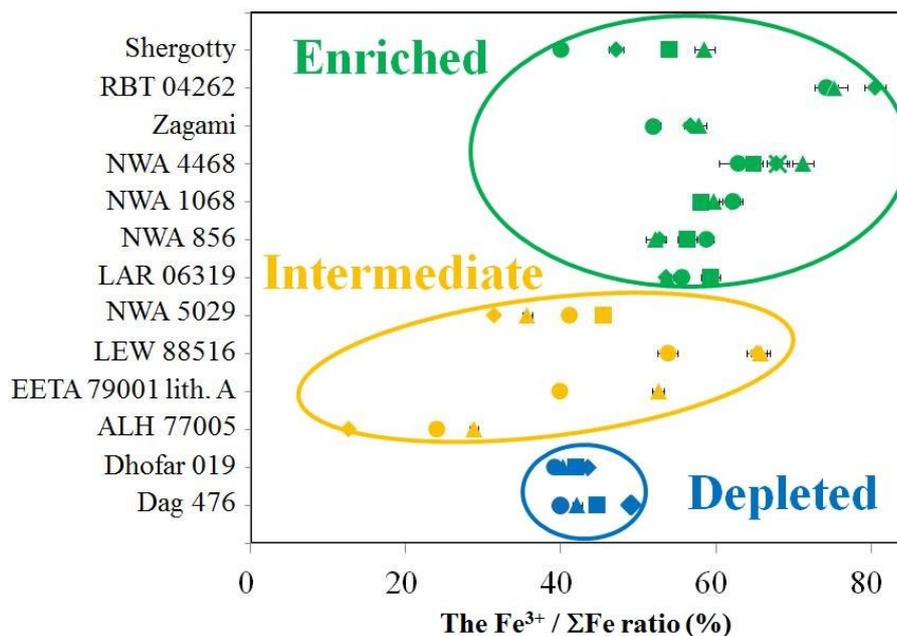


図 1 シャーゴッタイトのグループと Fe³⁺/ΣFe ratio

4. 小惑星ベスタ

小惑星ベスタはこれまで、コア形成時の酸素分圧は推定されているが (Pringle et al. 2013)、地殻形成時の酸素分圧は明らかにされていない。そこで、本研究では小惑星ベスタの地殻形成時の酸素分圧について調べた。小惑星ベスタ起源とされる HED 隕石 (H:ホルダイト E:ユークライト D:ダイオジェナイト) のうち、小惑星ベスタの表層で形成されたとされる表層ユークライトを 5 個、深部で形成されたとされる集積岩ユークライトを 3 個、マントル起源とされるダイオジェナイトを 1 個の計 9 個の試料を分析した。異なる深度で形成された試料を比較する事で、小惑星ベスタの形成モデルと酸素分圧の関係性について考察を行った。

その結果、表層で形成されたと考えられるユークライトよりも、深い部分で形成されたユークライトおよびダイオジェナイトの方が鉄 3 価の割合が高く、より酸化的环境下で結晶化したことが明らかになった。これは地球とは逆の傾向を持つ結果であるが、小惑星ベスタの結晶分化モデルが提唱する、地殻の形成時は地表に薄い層が固化しつつ形成されたという考えと調和的である。

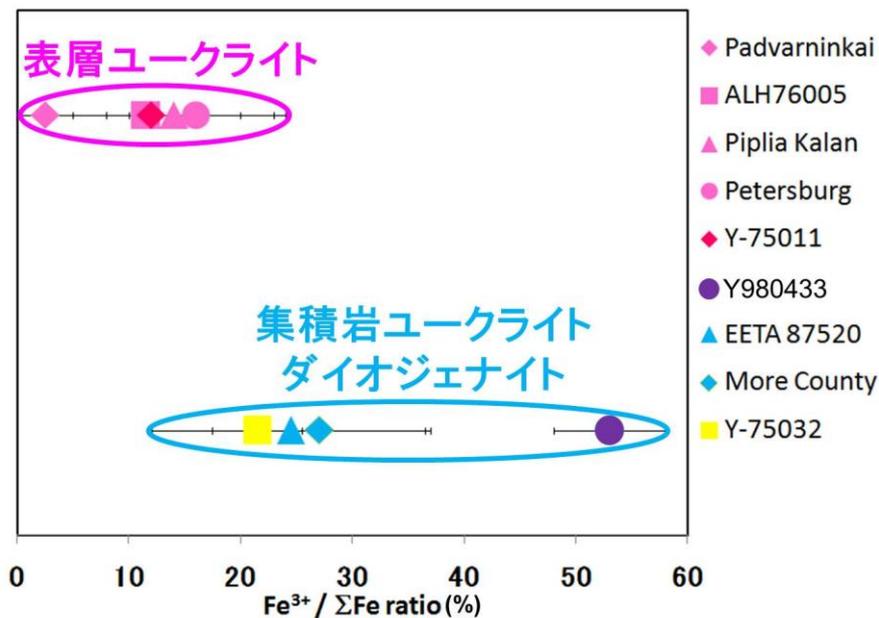


図 2 HED 隕石の Fe³⁺/ΣFe 比

5. 斜長石中の鉄価数による酸素分圧計

XANES 分析で得られた鉄 3 価の割合から酸素分圧の定量的な見積もりを可能にするため、斜長石の合成実験を行った。酸素分圧をコントロールした電気炉の中で斜長石を合成し、得られた斜長石の鉄の 2 価 3 価の割合を分析した結果から検量線を作り、酸素分圧を見積もった。その結果、酸素分圧は “ $\log fO_2 = 0.029 \times Fe^{3+}/\Sigma Fe \text{ ratio} - 3.0$ ” という式で導かれることが明らかになった。この式を使い、火星隕石に対して得られ

た酸素分圧は、鉄チタン酸化物酸素分圧計によるものと、カンラン石-輝石-スピネル酸素分圧計によるもの中間である値を示した。この結果は火星のマグマ中から結晶化する鉱物の順番と調和的である。また、同様に HED 隕石に用いて酸素分圧を見積もった結果、小惑星ベスタの酸素分圧は表層付近で QFM-2.7、地殻深部で QFM-2.1 だということが、本研究で初めて明らかになった。

6. まとめ

- ・ **Intermediate** シャーゴットタイトのソースは **Enriched** と **Depleted** の単純な混合では出来ないことを明らかにした。そのため、火星のマントルは従来考えられていたよりも不均質だということが明らかになった。

- ・ 小惑星ベスタは地球とは逆の傾向を持ち、深くなるにつれて酸化的環境であることが明らかになった。これは、地表に薄い層が固化しつつ形成されたという結晶分化モデルと調和的である。

- ・ 酸素分圧をコントロールした結晶化実験により、斜長石中の鉄価数から酸素分圧を見積もった。これにより見積もられた火星隕石の酸素分圧は鉄チタン酸化物酸素分圧計により得られた値と、カンラン石-輝石-スピネル酸素分圧計により得られた値の中間の値を取った。この結果は、火星のマグマ中から結晶化する鉱物の順番と調和的である。

- ・ 小惑星ベスタの酸素分圧は、表層付近で QFM-2.7、地殻深部で QFM-2.1 だと本研究で初めて見積もられた。