

論文審査の結果の要旨

氏名 佐竹 渉

本論文は7章からなる。

第1章は序論で研究背景と本論文の学問的位置づけが述べられている。惑星の形成進化において酸素分圧は重要な要素であるが、地球以外の太陽系天体では試料の入手が困難であること、酸素分圧計として使用する鉱物の有無や状態により測定が困難であることから、酸素分圧の議論が十分に行われていないことが述べられている。しかし、ほとんどの隕石に含まれている斜長石を対象とした放射光鉄マイクロ XANES 分析は、非破壊で微小領域の分析が行え、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することができる可能性を指摘している。本研究では、この手法を用いて分化した天体である火星と小惑星ベスタの酸化還元状態を見積もり、火星隕石の起源や小惑星ベスタの地殻形成進化について考察を行ったこと、さらに酸素分圧計としての利用を試み、斜長石中の鉄の2価3価ピーク強度比から酸素分圧を求めたことを述べている。

第2章では本研究で使用した試料の記載を述べている。具体的には、火星隕石であるシャーゴット14個、小惑星ベスタ起源とされる HED 隕石9個、衝撃実験試料10個、酸素分圧をコントロールした電気炉で合成した試料及び結晶化時の酸素分圧が測定されている試料4個について、それぞれの岩石学的特徴や化学組成を本研究による分析結果と引用データを用いることで詳細に記載している。

第3章では、本研究で用いた研究手法について述べている。本研究では、偏光顕微鏡および走査線電子顕微鏡(FEG-SEM Hitachi S-4500)による観察、電子線マイクロアナライザ(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にて実施)によるマスケリナイト及び斜長石中の鉄の2価3価のピーク強度比の測定とデータ処理、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、熱力学シミュレーションソフトウェア(MELTS)によるシャーゴット結晶化過程の考察を行った。これらの研究手法について、その背景や具体的な測定条件について詳細に述べている。

第4章では、放射光マイクロ XANES 分析の結果について述べている。第2章で紹介した全てのサンプルの分析箇所、得られた放射光マイクロ XANES のスペクトル、スペクトルから得られた鉄の2価3価のピーク強度比について詳細に記述している。火星隕石は斜長

石が衝撃によりガラス化したマスクェリナイト、他の試料では斜長石を分析対象としている。これらの相に含まれる鉄の 2 価 3 価のピーク強度比を求めている。また、火星隕石では数個の輝石についても分析を行っている。

第 5 章では、これまでの結果を踏まえて考察を行っている。衝撃実験試料の分析結果から、斜長石がマスクェリナイト化する程の衝撃を受けても鉄の 2 価 3 価のピーク強度比は変わらないことが明らかになった。そのため、放射光マイクロ XANES 分析の結果は斜長石結晶化時の酸素分圧を記録していることを示した。また、酸素分圧をコントロールした電気炉で合成した斜長石と酸素分圧が既知である斜長石の分析結果から検量線を作成し、得られた斜長石中の鉄の 2 価 3 価のピーク強度比から酸素分圧を見積もった。得られた酸素分圧はカンラン石・輝石・スピネル酸素分圧計と鉄チタン酸化物酸素分圧計の間である値を示した。この結果は、火星のマグマから結晶化する鉱物の順番と調和的であり、得られた鉄の 2 価 3 価のピーク強度比は斜長石結晶化時の酸素分圧を記録しているという本研究の主張と調和的である。これまでの火星隕石の地球化学的特徴と酸素分圧の先行研究においてシャーゴットイトマグマの起源が議論されているが、軽希土類元素の濃度が中間的なシャーゴットイトの鉄の 2 価 3 価のピーク強度比が、軽希土類元素が欠乏しているものより低い値を持つことから、これまで提唱されていない新たなマグマソースの存在、もしくは、火星の地殻において二次的に還元的な変化を起こすプロセスが必要なことを示した。小惑星ベスタ起源である HED 隕石においては、異なる深度で形成された試料の酸素分圧を相対的に評価した結果、表層で形成された試料よりも地殻深部で形成された試料の方がより酸化的环境下で結晶化したことを明らかにした。

このように、本研究によって他天体の酸素分圧を見積もり、その形成進化について新たな知見を得るとともに、本研究で用いた斜長石・マスクェリナイトの放射光鉄マイクロ XANES 分析が、他天体の酸素分圧を議論するにあたりきわめて有効な手法であることが示された。

第 6 章では、第 2 章から第 6 章で得られた結果と議論についてまとめており、最後に第 7 章で謝辞を述べている。

なお、本論文の第 4 章、第 5 章のそれぞれ一部は、三河内岳准教授、宮本正道名誉教授との共著論文として既出版されているが、いずれも論文提出者が主体となって実施したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断できる。

本研究は、惑星物質の酸素分圧を議論するにあたり斜長石・マスクェリナイトの放射光鉄マイクロ XANES 分析の有用性を示し、火星と小惑星ベスタの形成過程について新しい発見をもたらしたことから、その研究成果を審査委員会一同で高く評価した。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。