

固体惑星物質試料のマイクロXANES分析

三河内 岳¹、佐竹 渉¹、紋川 亮²、Michael Zolensky³

¹東大・理・地球惑星科学、²東京都立産業技術研究センター、³NASAジョンソン宇宙センター

固体惑星物質は、様々な酸化・還元状態で形成されており、原始太陽系星雲での塵集積環境、微惑星での水質変成環境、微惑星・惑星でのマグマ発生環境などの酸化・還元状態の不均質を反映していると考えられる。実際に、最も還元的な試料であるエンスタタイトコンドライトから最も酸化的な試料である火星隕石まで、形成時の酸素分圧には7~8桁もの幅が見積もられている。これらの酸化・還元状態の差は、固体惑星物質中の構成鉱物に含まれる遷移元素の価数に如実に反映されている。例えば、還元的な環境下で形成された隕石では、鉄は金属鉄(Fe⁰)やケイ酸塩・酸化物中に2価として存在するが、酸化的な環境で形成された火星隕石などでは、金属鉄は存在せず、ケイ酸塩・酸化物中に3価の鉄が存在する。逆に、これらの価数変化は、酸素分圧計として応用できる可能性があり、鉱物中の元素の価数を正確に求めることは、固体惑星物質の形成時の酸化・還元状態を正確に求める上で重要である。これまで我々のグループでは、PF-BL-4AのマイクロXANES測定で、各種固体惑星物質中の鉱物に含まれる鉄の価数の見積もりを行ってきたので、下記に2つの例を紹介する。いずれもマイクロビーム(約5 μm 四方)での分析で、得られた結果である。

(1) 火星マンタルの酸化・還元状態

火星隕石は、いずれもマグマが結晶化してできた火成岩である。これらのマグマはマンタル物質が部分熔融して形成されたものであるが、近年の研究で、火星隕石から求められた酸素分圧には約3桁もの差があることが明らかになって来た。しかし、これらの酸素分圧の見積もりは、結晶化過程末期に析出する鉄チタン鉱物を用いて行われていることから、元のマグマが本当に酸素分圧に大きな差を持っていたかは定かではなかった。我々は、結晶化過程初期に析出する斜長石中の鉄の価数を分析してきた結果、鉄チタン酸化物から得られた酸素分圧と斜長石中の鉄の2価・3価比に良い相関関係が見られることを見出した。火星隕石形成時の酸化・還元状態はマグマが形成されたマンタルの酸化・還元状態を反映していると考えられ、微量元素組成や同位体組成とも関連が見られている。これまでに見つかっている火星隕石では、マンタルの酸化・還元状態は大きく3つのグループに分けられることが明らかになっており、火星にはプレートテクトニクスが見られないことから火星マンタルは不均質で、異なったグループ間のマンタル物質の混合が起こっていないことが示唆されている。

(2) 炭素質コンドライト(CM)隕石の水質変成度合い

CMコンドライトは母天体での水質変成によりカンラン石が変成して蛇紋石が形成されている。ただし、試料により水質変成の度合いに差が見られ、水質変成の強い試料では蛇紋石中の鉄は2価であり、水質変成の弱い試料では蛇紋石中の鉄は3価であることが予測されていた。我々は、実際に水質変成の度合いの異なるCMコンドライト中の蛇紋石をマイクロXANESで分析した結果、水質変成の強い試料では2価の鉄が多く見られ、逆に水質変成の弱い試料では3価の鉄が多く見られることを見出した。蛇紋石中の3価の鉄は、反射スペクトルにおいて0.7 μm 付近に吸収を示すことが知られている。次期小惑星探査の「はやぶさ2」では、炭素質コンドライトの母天体と考えられる小惑星を探査することから、リモートセンシングにより、水質変成の度合いを見積もることができる可能性がある。今後、CMコンドライト以外の炭素質コンドライトについても蛇紋石中の鉄の2価・3価比を測定し、反射スペクトルの測定を同時に行い、「はやぶさ2」探査に向けての基礎データを取得予定である。