

# 隕石中の有機物分析における STXM の役割と重要性

菅 大暉

広島大学 大学院理学研究科

【はじめに】近年、隕石中の有機物の分析にはマルチスケール・マルチプローブの分析手法を組み合わせることが主流となりつつある。本講演では、STXM/NEXAFS がこの中で務める役割とその重要性を、実際の分析結果を提示しつつ発表する。

【隕石・その中の有機物】隕石（リターンサンプルも含む）は、我々が唯一直接手に取り分析することのできる地球外物質である。この中に含まれる有機物を分析することで (i) 太陽系における有機物形成・進化過程の理解、(ii) 惑星形成・進化過程における有機物の役割の考察、(iii) 生命の起源物質となった可能性の議論などが行なわれている。これらは地球上の試料分析結果から議論することが難しいため、今後適切な分析方法・手順を確立し、限られた量の地球外物質から最大限の情報を取り出すことが重要な課題である。近年、サブマクロメートルの X 線プローブを用いた分子レベルでの有機物官能基の同定・分布の調査のできる STXM/NEXAFS は、電子顕微鏡・同位体顕微鏡とプローブサイズが近く、得られる情報が相補的であることから、地球外物質の有機物分析フローに組み込まれつつある。実際、2020 年には「はやぶさ 2 (JAXA)」が、2023 年には「OSIRIS-Rex (NASA)」が地球に帰還予定であるが、そのリターンサンプルの分析フローにも STXM/XANES は組み込まれている。

【試料作製・分析】隕石中有機物を正しく分析するためには、地球上での汚染の一切を除去する必要がある。現状では完全な汚染除去は困難であるため、少なくとも我々が手に取る段階からは更なる汚染が無いように、有機物・水フリーなプロトコルによって測定試料を作製するように努めている。本研究でも有機物・水フリーな試料準備プロトコルを独自に考案し、炭素質コンドライト (Allende CV3) のマトリクスに含まれる有機物をターゲットとして、収束イオンビーム (FIB) による超薄膜試料の作製を行い、STXM に加えて透過型電子顕微鏡 (TEM/STEM) や同位体顕微鏡 (高分解能二次イオン顕微鏡; NanoSIMS) による分析を行った。

隕石試料分析においては、有機物に加えて鉱物相の分析も必要であるが、超薄膜化した試料を作製・使用することで、STXM による C の価数分析・TEM による鉱物同定・NanoSIMS による C 同位体情報取得のすべてが一つの薄膜試料から行えるため、最低限の試料損失で最大限の情報を得ることが可能である。

【結果・考察】本研究の結果、Allende CV3 のマトリクスでは、不溶性有機物 (IOM) が微小なオリビンの粒界 (幅:  $\sim 1.2 \mu\text{m}$ ) に含まれており、部分的な C の官能基比の違いが存在することが明らかとなった。また、有機物の中に小胞状有機物 (Nano-globule) と数 10 nm スケールの極微小鉱物が含まれていることもわかった。一方、場所ごとの官能基比の違いに関わらず同位体的には均一であったため、マトリクス中の有機物は隕石母天体上で水や熱による変質を受けながらも、隕石母天体形成時の形態を保持している可能性が示唆された。本結果はマトリクスの一次形成起源説 (マトリクスのオリビンが母天体での二次鉱物として形成されたのではなく、原始太陽系星雲で形成されたとされる説) を支持している。

【今後の展望】現在我々の PF 実験課題「2016S2-002」内では本要旨で述べた Allende 隕石以外にも、多くの隕石試料を測定しており、数々の成果を生んでいる。また、今後は火星表層の炭素循環を明らかにすべく火星隕石の分析も行い、国際宇宙ステーション実験棟「きぼう」の船外にて採取した宇宙塵の測定も行う予定である。課題外では、「はやぶさ 2」試料の有機物分析のために研究機関の間で連携協定が結ばれるなど、「限られた試料から最大限の情報を取り出す」体制が着々と整ってきている。今後国内にて STXM 分析が活発になることで、より良いサイエンスが展開されることを期待し、PF がその発信元になることを希望する。

【おわりに】著者は 2012 年度から Photon Factory BL-13A での compact STXM (cSTXM) 開発に携わってきた。そして、現在「2016S2-002」への参加メンバーの分析をサポートしつつ、自らは隕石中の有機物の官能基組成分析を主に行っている。本公演の最後には、このような学生の立場からみた、BL-19 への STXM 導入の必要性も述べる。

現状の背景として PF の運転時間削減が有り、その結果 STXM マシンのメンテナンス時間も減少している。この発表を機に、PF にて STXM 専用ビームラインの建設の流れが進み、材料科学や地球科学分野で増え続けている日本国内の STXM 使用希望ユーザーが課題を出し合い切磋琢磨して分析できる環境が整うことを切に願う。またこの事は BL-13A からの STXM の撤退を意味し、現在 STXM の参入によって切迫している BL-13A/B のメンテナンスの緩和にもつながる。結果として、今までのように高電子分光分野のユーザーのメンテナンスを十分に確保できるようになるため、現在分析時間を十分に割り振ることの出来ないユーザーグループに対しても利点となり、最終的には PF 全体にとって良い流れを生むことに繋がると考える。