

特集号「走査型透過 X 線顕微鏡 (STXM) が拓くサイエンス」企画説明

保倉明子 (東京電機大学工学部)

高橋嘉夫 (東京大学大学院理学系研究科)

X 線顕微鏡は、電子顕微鏡と比較して空間分解能では劣るものの、高い感度で元素分析が行えると共に、X 線吸収スペクトルによる元素の化学状態が得られるという特徴を備え、また試料損傷の程度も電子線よりは小さいなどの多くの利点を有している。そのため、国内の X 線領域の放射光施設の殆どで、何らかの X 線顕微分析が展開されており、その応用は、材料科学、地球惑星科学、環境科学、生物科学などを含んだ極めて広範囲に及び、不均質な試料を分析する上で不可欠なツールとなっている。利用する X 線のエネルギーは、対象とする元素の吸収端に依存し、軟 X 線領域から硬 X 線領域まで幅広く、それらに応じた手法が進展している。また走査型と結像型の 2 つの手法が発展しており、それぞれの特徴をいかした応用研究が進められている。例えば硬 X 線領域での走査型 X 線顕微鏡では、Kirkpatrick-Baez (K-B) ミラーで $1\mu\text{m}$ 程度に集光したビームを用い、蛍光 X 線を検出して元素分布を得る手法が主であり、X 線吸収微細構造 (XAFS) 測定と透過配置での X 線回折 (XRD) 測定とを組み合わせた複合分析もしばしば行われる ($\mu\text{-XRF-XAFS-XRD}$)。

一方、軟 X 線領域では、Fresnel Zone Plate (FZP) を用いた集光ビームで、しばしば 30 nm を切る空間分解能での分析が行われている。このうち Scanning Transmission X-ray Microscopy (STXM) は、透過配置で吸収をみながら試料を走査して 2 次元マッピングを行う分析であり、世界的に広汎な応用が進んでいる。特に XAFS に表れる特徴的なピークを利用することで、元素マッピングばかりでなく、化学種マッピングが得られる点に特色がある。また、 2 keV 以下の軟 X 線領域には炭素などの重要な元素の吸収端があり、STXM を利用することで炭素の官能基マッピングなどが得られる。国内では STXM の導入が遅れ、関連する研究分野において、日本は世界の後塵を拝している感があったが、2012 年以降、分子研 UVSOR、続いて Photon Factory において STXM が稼働し始め、現在その応用研究が強力に推進されている。

このような時期を捉えて、本号では「走査型透過 X 線

顕微鏡 (STXM) が拓くサイエンス」の特集を企画した。STXM を概説し、今後のさらなる発展や多分野への展開を図るきっかけを提供したい。そのため本特集号では、既に稼働している国内の STXM 装置について、装置の導入や開発にあられた方々にご紹介いただき、その後、環境科学、地球惑星科学、材料科学の各分野で成果をあげておられる研究者に STXM を用いた応用研究をご紹介いただく構成とした。

まず前半では、Photon Factory において独自開発したコンパクトな STXM 装置の特徴や性能と共に、測定や解析法などについて、武市泰男氏に解説していただいた。続いて、国内の STXM 研究を先導している大東琢治、小杉信博の両氏に、UVSOR-III における国内唯一の STXM 専用ビームラインで展開している多彩な研究、特に各種試料セルの開発に関連した独自性の高い研究についてご紹介いただいた。

後半では、3 つの応用研究についてご執筆いただいた。まず微生物や天然有機物が関連した環境科学の研究について、光延聖氏らにご紹介いただいた。環境科学分野における、炭素の化学種解析の有効性が示されている。次に藪田ひかる氏には、「はやぶさ」計画をはじめとする地球外物質への STXM の応用例をご紹介いただいた。さらに材料科学分野では、守友浩氏らに、炭素の官能基マッピングなど STXM の特徴をフルに活かした有機デバイスの構造解析と機能性の評価について、最先端の分析法の紹介もまじえながら解説いただいた。

本特集号の記事が、様々な分野のより多くの研究者のためになれば幸いである。記事の内容からも分かる通り、STXM は、「夢」(宇宙や生命の誕生と進化など)のある研究分野と、「安全・安心」(環境・資源、持続可能な社会に貢献する産業創生など)の研究分野、いずれの進展にも大きく貢献でき、応用範囲が広くスループットの高い手法である。こうした手法を核にして、放射光の有用性を社会にアピールすることが、この分野の一層の発展に貢献することを願って止まない。