

光化学測定器開発研究部門（極端紫外光研究施設）

荒木 暢（主任研究員）（2023 年 1 月 1 日着任）

石原 麻由美（事務支援員）

加茂 恭子（事務支援員）

横田 光代（事務支援員）

A-1) 専門領域：放射光科学

A-2) 研究課題：

- a) 軟X線吸収分光を基礎とした生命科学へのアプローチ
- b) 液中観察のためのX線分光顕微鏡と試料環境開発
- c) 夾雑環境生体試料の定量化学状態マッピング

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 軟X線吸収分光を基礎とした生命科学へのアプローチ；UVSOR の次期計画を念頭に、既存の軟X線ビームラインを利用したトライアルとして、以下の2つの試料システムについて Scanning Transmission X-ray Microscopy (STXM) による実験を行った。

光合成タンパク質の超複合体の測定を行い、鉄の L 吸収端 X 線吸収スペクトル (XAS) において十分なレベルの信号を検出でき、スペクトルを正しく測定できることを確認したが、マンガンについては限られたビームタイム中では検出できなかった。更に実験を行い、鉄およびマンガンの共鳴 X 線散乱の実験に繋がりたいと考えている。

極限環境下で乾眠することが知られているクマムシについて、その微視的解剖学の観点から、樹脂に包埋した超薄切片試料について STXM 観察を行った。炭素、窒素、酸素の K 吸収端ではエネルギーを変化させる（特定の吸収構造に合わせる）ことでオルガネラに対応すると思われる微細構造が観察され、Scanning Electron Microscopy (SEM) で観察された構造にほぼ対応していることを確認した。今後、相補的な観点で用いる SEM との対比などを共同研究者と議論し、① STXM でしか見えない構造があるのか？ ② SEM で観察されている構造の特定に STXM が寄与できるか？ といったことを明らかにし、研究を進めたい。

X 線のコヒーレンスを生かしたイメージング（散乱からの像再構成）について現在の UVSOR および次期リングでの実現を検討するために、先行する海外施設での装置見学および実験を検討し、実際に、蓄積リングのサイズこそ大きいもの、そのエミッタンス（電子ビームのサイズ×発散角）がほぼ同じである Canadian Light Source (CLS) のコミッション実験に参加した。上記のクマムシ試料を使った Ptychography（コヒーレントイメージングの一つ）のテスト実験において、確かな空間分解能の向上（X 線のビームサイズで決まる分解能よりも優れていること）を確認した。

- b) 液中観察のためのX線分光顕微鏡と試料環境開発；Diamond Light Source において硬X線顕微分光によって液中セルを使ったバクテリアに金ナノ粒子が担持されたポリマー粒子を添加した試料の観察を共同研究者と行った。金の酸化状態を XAS スペクトル測定から決定した。今後、軟X線領域での STXM でも同様の試料の観察を計画している。Transmission Electron Microscopy (TEM) 用に開発されたセルを利用した実験であり、今後の STXM 実験の参考になるものであった。TEM 用の液体セルの活用または、独自セルの開発の2つの観点で計画を進める。試料自体を走

査する STXM の場合、液中セル自体を揺さぶることになるため、今後、集光X線の走査または結像型による試料を固定した状態での測定を模索する。また、液体エタンなどを冷媒に用いた急速凍結による試料準備のオプションも併せて検討する。TEM 試料セルの利用は、現在検討中の TEM と X 線イメージング・共鳴散乱手法の相補利用も念頭にその導入を進める。

- c) 夾雑環境生体試料の定量化学状態マッピング：細胞中の「夾雑環境」で、これまで高分子研究や皮膚への薬剤の浸透などで発揮された化学状態弁別性とメソスケールの空間分解能を生かした定量分析をどう実現するかを検討する。上記のクマムシの共同研究もその一つである。NINS の本部主導のフォトンバイオロジー研究プラットフォーム：PBRP を通じて、東北大の医学・農学研究科、量子生命研究所のメンバーと UVSOR を使ったフィージビリティ実験を行った（R6 年度前期）。1 件については日本バイオイメーjing学会にて発表が行われた。後期は同様の実験と、更に、PBRP で立ち上げるプロジェクト：X 線によるオルガネラソーティングの基礎データ収集を行う予定である。

B-1) 学術論文

J. A. LAUX, T. OHIGASHI, M. R. BITTERMANN, T. ARAKI, H. YUZAWA, F. RANCAN, A. VOGT and E. RÜHL, “Scanning Transmission Soft X-Ray Microscopy Probes Topical Drug Delivery of Rapamycin Facilitated by Microneedles,” *ChemPhysChem* **26(2)**, e202400819 (2025). DOI: 10.1002/cphc.202400819

T. MATSUMOTO, T. NOGUCHI, A. MIYAKE, Y. IGAMI, M. MATSUMOTO, T. YADA, M. UESUGI, M. YASUTAKE, K. UESUGI, A. TAKEUCHI, H. YUZAWA, T. OHIGASHI and T. ARAKI, “Sodium Carbonates on Ryugu as Evidence of Highly Saline Water in the Outer Solar System,” *Nat. Astron.* **8(12)**, 1536–1543 (2024). DOI: 10.1038/s41550-024-02418-1

B-3) 総説、著書

S. KERA, T. ARAKI, K. TANAKA, Y. TAIRA, M. KATOH and F. MATSUI, “UVSOR Synchrotron Facility 40th Anniversary,” *Synchrotron Radiat. News* **37(2)**, 41–42 (2024). DOI: 10.1080/08940886.2024.2330876

B-4) 招待講演

荒木 暢, 「軟 X 線顕微分光法」, 第 16 回日本放射光学会放射光基礎講習会, 仙台 (ハイブリッド開催), 2024 年 9 月。

B-8) 大学等での講義、客員

Diamond Light Source, Visiting Scientist, 2023 年–。

B-10) 競争的資金

生命創成探究センター特別共同研究, 「無水生物学を開拓する技術基盤の構築とその展開」, 荒木 暢 (2024 年度)。