

■ 会議報告

X-ray Diffraction Limit Workshop Series
Workshop 1—Diffraction Microscopy, Holography and
Ptychography using Coherent Beams 報告

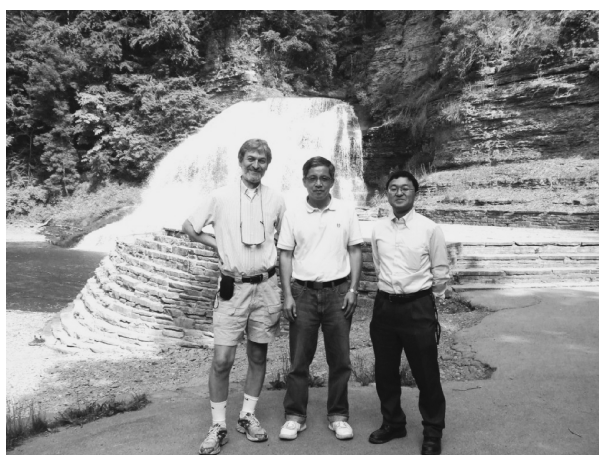
西野吉則 (北海道大学電子科学研究所)

回折限界硬 X 線を利用した科学のフロンティアを議論する 6 回シリーズのワークショップ, XDL 2011 (Science at the Hard X-ray Diffraction Limit) が, 2011年 6 月にコーネル大学 (ニューヨーク州イサカ市) で開かれた。このシリーズの第 1 回目 “Diffraction Microscopy, Holography and Ptychography using Coherent Beams” が, 2011 年 6 月 6-7 日に行われた。参加者は総勢 60-70 名で, アメリカからの参加者が主だった。日本からの参加者は著者 1 人のみで, ヨーロッパからの参加者は 3 名ほどであった。講演は全 17 件で, そのうち日本からは著者の 1 件, ヨーロッパからは 2 件だった。

第 1 回ワークショップのタイトルには, コヒーレント X 線を用いた 3 つの手法の名称が並べられている。一つ目に挙げられた Diffraction Microscopy (回折顕微法) は, レンズを用いず, コヒーレント回折データから計算機を用いて試料構造を再構成する手法である。CDI (Coherent Diffractive Imaging) など他の名前でも呼ばれることもあるが, オーガナイザーの 1 人である Janos Kirz (LBNL) は一貫して Diffraction Microscopy と呼んでいる。二つ目の Holography (ホログラフィー) に関しては, 近年, 様々な新たな提案が行われ, 研究が活発化している。三つ目の Ptychography (タイコグラフィ) は, 走査型の回折顕微法である。元来の回折顕微法が, マイクロメートルサイズの孤立した粒子状の試料に限定されていたのに対して, タイコグラフィは, より一般的に, 広がった試料にも適用できる。マイクロメートルサイズの X 線ビームで試料を走査して, 重なり合いのある複数の試料領域からのコヒーレント回折データを計測し, 広がった試料の構造を再構成する。

第 1 回ワークショップのオーガナイザーは, Janos Kirz, Qun Shen (NSLS II), Darren Dale (CHESS) の 3 名だった。X 線顕微鏡の大御所 Janos Kirz と, CHESS の所長である Sol Gruner が, ワークショップの議論の方向性リードしていた。

ワークショップの最初のセッションでは, 施設者・主催者側によるイントロダクションが 3 名の演者によって行われた。CHESS の Don Bilderback と Sol Gruner は, それぞれ, ERL (Energy Recovery Linac)・USR (Ultimate



散策に訪れた峡谷にて。Ian Vartanians (左), Jianwei Miao (中央) と, 筆者 (右)。

Storage Ring) について, 検出器についてのレビューを行った。その後, Qun Shen がコヒーレントイメージングの概要と, 大きなインパクトが期待される応用分野についての発表を行った。

初日の午前中後半のセッションは, ワークショップのタイトルにもある, 回折顕微法とホログラフィーについてのレビューが 3 名の演者によって行われた。Keith Nugent (Melbourne 大) の代役として, 彼の元でポスドクをしていた Garth Williams (LCLS) が, 回折顕微法のレビューを行った。Nugent らのグループが近年展開している部分的にコヒーレントな光源を用いた回折顕微法について, その意義が強調された。Jim Fienup (Rochester 大) は, 回折顕微法で広く用いられている HIO (hybrid input-output) と呼ばれる位相回復法を開発した第一人者である。彼らのグループが近年提案した HERALDO (holography with extended reference by autocorrelation linear differential operation) と呼ばれるホログラフィーの手法などについての発表が行われた。Stefano Marchesini (LBNL) は, Uniform Redundant Array と呼ばれるパターンを参照光源に用いたホログラフィーについて発表した。彼が所属する LBNL では, COSMIC (coherent scattering and microscopy) と呼ばれるコヒーレントイメージングの専用

ビームラインが計画中であり、この計画についても紹介された。

初日の午後のセッションでは、コヒーレントイメージングの生物学応用についての発表が、5名の演者によって行われた。Chris Jacobsen (Northwestern 大) は、フレネルゾーンプレート集光した X 線を用いた走査顕微鏡で、位相コントラスト像や元素マップを同時に取得する手法と、その生物学への応用研究について発表した。通常の Zernike 位相コントラスト顕微鏡を時間反転させて、走査型で測定をするアイデアは斬新で興味深かった。彼らが Xradia と共に新たに開発した凍結水和生体試料を測定する装置についても紹介された。Chae Un Kim (CHESS) は、細胞等の放射線損傷を軽減する低温保護において、加圧凍結 (high-pressure freezing) を用いる試みを紹介した。広く行われている急速凍結と比べて、氷晶をさらに抑えることができるメリットが示された。一方で、後の議論で、加圧凍結では高密度アモルファス氷 (HDA: high-density amorphous ice) が生成されるため、試料と氷と像のコントラストが悪くなるという問題が指摘された。David Shapiro (NSLS II) は、X 線回折顕微鏡を用いた酵母の観察などについて発表した。また、彼が NSLS II で開発を担当しているコヒーレント軟 X 線ビームラインの状況についても紹介があった。シリコンを用いた屈折レンズ (フィルター) が参加者の興味を引いていた。西野吉則 (北大) は、X 線回折顕微鏡を用いた染色体の観察などについて発表した。X 線顕微鏡での生体試料の観察では、放射線損傷のため、空間分解能は10ナノメートルが限界と言われている。この限界を超える可能性のある戦略として、サブ10ナノメートル集光ビームを用いる方法や、ゆらぎ散乱等を利用して平均構造を得る方法が紹介された。Jianwei Miao は、X 線回折顕微鏡を用いた各種生体試料の観察例に加えて、Equally-Sloped Tomography, Ankylography といった彼らが進めているユニークな試みについて紹介した。

2日目の午前前半には、1日目に扱われなかったコヒーレント X 線を使った他の手法についての発表が3件あった。Ivan Vartaniants (DESY) は、相関解析 (CCA: Cross-correlation Analysis) の理論的な考察について発表した。コヒーレント X 線を利用して X 線小角散乱を拡張した CCA は、近年注目を集めているが、試料構造に関しての予備知識なく、3次元構造を取得するのは困難との指摘がされた。Ross Harder (APS) はブラック反射配置のコヒーレント X 線回折について発表した。ERL や USR

を用いることにより、ダイナミクスの測定が可能になるとの展望が示された。ちなみに、彼が担当者を務める APS の34-ID-C は、おそらく世界で唯一、コヒーレント X 線回折のみを行う専用ビームラインである。Pierre Thibault (TU Munchen) は、SLS の cSAXS (coherent small-angles x-ray scattering) ビームラインで進められている、タイコグラフィーの研究について発表した。従来、タイコグラフィーでは、3次元イメージングや、散乱の弱い生体試料の観察は難しいとされてきたが、彼らはこれら困難を乗り越える成果を近年挙げている。タイコグラフィーは、ワークショップ全体を通じて、何度も議論に取り上げられ、関心の高さを示した。試料が厚い場合や高分解能になると、投影近似が成り立たず、タイコグラフィーが適用できなくなるという限界も指摘された。

2日目の午前後半は、コヒーレントイメージングの物質科学への応用についての発表が、3名の演者によって行われた。Harald Ade (North Carolina State大) は、有機デバイスに関して、応用研究への期待を発表した。Oleg Shpyrko (UC San Diego) と Ian McNulty (APS) は、共鳴磁気散乱を用いた磁気ドメインのイメージングについて発表した。両名はこのテーマで共同研究を行っているため、重複の大きい内容だった。直線偏光を用いて、円二色性イメージングするというアイデアが斬新だった。

2日目の午後は、ディスカッションに充てられた。それまでのセッションでは、手法に力点が置かれていたが、ディスカッションでは、具体的な試料に対して、ERL や URL が可能にする科学の事例を挙げるのが求められた。ディスカッションの際には、発表者1人に付き1つ以上の事例を提案するよう初日から繰り返してアナウンスがあり、これを果たせなければワークショップ後の BBQ ディナーはお預けにすると冗談まじりに Sol Gruner は言っていた。提案した事例について、ワークショップ後に A4 用紙1枚以上のレポートを提出するよう求められた。

今回のワークショップには、コヒーレント X 線を使った実験を、各施設の現場で行っている研究者が多く参加しており、(ワークショップのセッション以上に?)、休憩時間等に多くの研究者と技術的に突っ込んだ議論ができたことが大変有用だった。

末筆ながら、このワークショップの途中で、日本の X 線自由電子レーザー SACLA 発振のニュースが、参加者に様々なルートでもたらされ、複数の参加者から祝福の言葉を頂いたことを報告する。