

## ◁研究会報告▷

## 第7回 X線顕微鏡国際会議 XRM2002に参加して

竈島 靖 (姫路工業大学大学院理学研究科)

去る7月29日から8月2日にかけて、標記の国際会議がフランスのグルノーブルで行われました。ホストはESRFでした (Organized by ESRF)。会場はグルノーブル駅に隣接した World Trade Center (WTC) で、私はWTCに併設されている NOVOTEL に宿泊しましたので、極めて快適に会議に参加することができました。会議の前半は暑く、特にポスター会場は熱気のため暑さが助長され不評でしたが、後半は気温が下がり比較的過ごしやすくなりました。私はこの会議の後スイスのジュネーブで開かれた国際結晶会議にも出席したため、日本の異常な暑さを避けることができました。

主催者の報告及び参加者名簿によると参加者は合計239名 (前回 XRM99@Berkeley は182名) で、その主な内訳はフランス70 (同17)、日本33 (同23)、アメリカ33 (同79)、ドイツ30 (同26)、イギリス14 (同9)、イタリア14 (同6)、スウェーデン8 (同6) といったところです。フランスは開催国でしたのでもう少し参加者があってもよかったように思います。韓国と台湾からそれぞれ4名の参加があったことは注目に値します。彼らは自国に放射光施設を有し、X線顕微鏡分野でも着実に実力をつけている印象を受けました。全発表件数は194件 (前回 XRM99は172件) で、招待講演は27件 (日本人2件)、口頭発表が29件 (日本人3件)、ポスター発表が135件 (前回 XRM99は119件) でした。前回より概ね一割強会議の規模が大きくなったと言えます。口頭発表には106件の申込があり、国際プログラム委員によって全アブストラクトが評点され、その結果29件が選ばれたことを付記しておきます。

セッションは、(1) Instrumentation, (2) Applications, (3) Methods and Novel Approaches の三つに分けられ、それぞれ(1) Instrumentation では招待講演8件 (日本人1件)、口頭発表6件 (日本人1件)、ポスター発表51件 (日本人12件)、(2) Applications では招待講演12件、口頭発表12件、ポスター発表49件 (日本人5件)、(3) Methods and Novel Approaches では招待講演7件 (日本人1件)、口頭発表11件 (日本人2件)、ポスター発表31件 (日本人8件) でした。これらの数字からも、X線顕微鏡に関する研究が装置開発から利用研究に大きくシフトしつつあることが読みとれます。また、日本では外国に比べてまだ応用研究があまり行われていないこともわかります。さらにもう一つ大きな変化を指摘しなければなりません。それは、軟X線の利用研究と硬X線の利用研究の発表件数がほぼ等

しくなったことです。硬X線の利用研究の増加傾向は前回の会議でも見られましたが、今回遂に発表件数において両者が互角になったわけです。ESRF, APS, SPring-8の本格的利用が軌道に乗っていること考えれば当然の結果とも言えますが、ゾーンプレートを使った軟X線顕微鏡の開発に関する研究が中心になって始まった本会議ですから、会議の内容は「様変わりした」と言っても過言ではないでしょう。硬X線の利用は実験室レベルでも可能なためその装置技術と利用研究両面において蓄積されたノウハウは裾野が広く、今後X線顕微鏡は硬X線の利用が主流になるのではないかと思います。

今回の会議で私の印象に残ったことを幾つか述べたいと思います。まず空間分解能が着実に向上していることです。顕微鏡に関する会議ですから、空間分解能は本分野の進展度合いを示す最も重要な指標と言えるでしょう。軟X線顕微鏡では、ALSのXM-1で25 nmに達しています (G. Denbeauxら)。20 nmのLine-&-Spaceがはっきりと解像されていました。遂に空間分解能が波長の10倍以内に入りました。軟X線では本当の意味での回折限界が見えつつあります。また、これまで走査型顕微鏡にはアンジュレータが必須と言われてきましたが、ALSの偏向電磁石ビームラインで実用的な走査型軟X線顕微鏡装置が開発されました (H. Adeら)。偏向電磁石光源でも十分なコヒーレントフラックスが得られるわけですから、第三代放射光源の威力を如実に示した例と言えるでしょう。最外幅40 nmのゾーンプレートを使い30 nmのLine-&-Spaceを11%のコントラストで解像しています。SPring-8では、248 m長ビームラインにおいて8 keVのX線でゾーンプレートをコヒーレントに照明し、120 nm径のマイクロビームを得ています (Y. Suzukiの招待講演)。100 nmのLine-&-Spaceが高いコントラストで解像されており、硬X線でも100 nmを切るマイクロビームがいよいよ視野に入ってきました。ESRFのグループは、4 keVのエネルギーで60 nmの空間分解能を報告していました (U. Neuhauslerら)。彼らは、この分解能でゼルニケ式の位相差顕微鏡を開発し、電子回路素子の位相コントラスト像を示していました。自分の発表で恐縮ですが、私は10 keVのX線による結像型顕微鏡で60 nmのLine-&-Spaceまで解像できることを示しました。多分これは10 keV以上のエネルギーでは世界最高の空間分解能だと自負しています。あくまでも私見ですが、10 keV以上 (ぎりぎり8 keV) が一つの技術的な壁になっていると思います。

ESRF や APS では middle energy range と称して 4 keV 前後で非常に解像度の高い仕事をしています。このエネルギー領域は軟 X 線の技術の延長で何とか感じる感じで、10 keV 以上では急に要素技術が難しくなります。逆にそこが SPring-8 を有する日本の狙い所だと思います。

次に特徴的なことは、硬 X 線での位相コントラストのイメージングに関する発表が増えてきたことです。これは軽元素においては、複素屈折率 ( $n=1-\delta-i\beta$ ) の  $\delta$  が  $\beta$  よりも 3 桁程度大きいため、位相コントラストの方が吸収コントラストよりもはるかに感度が高いことに基礎をおいたイメージング法です。この研究領域は日本が先導的な役割を果たしています。前回の XRM99 において A. Momose が干渉系による位相コントラスト CT について招待講演をしましたが、今回は干渉系の構成に工夫を凝らし、空間分解能の向上を図る発表をしています (I. Koyama ら)。また、SPring-8 の高いコヒーレンスを活かして初めて可能となる硬 X 線のホログラフィー (N. Watanabe らの招待講演) やプリズムを用いた二光束干渉系 (Y. Kohmura ら) 等はまた日本で行われていないユニークな研究で、世界に誇れる成果だと思います。これら SPring-8 の顕微鏡に関するアクティビティーは初日の Y. Suzuki の招待講演で紹介されましたが、中尺ビームラインによるコヒーレンスの有効利用や 80 keV という極めて高いエネルギーの結像実験など、先に進み過ぎていて外国勢には多少消化不良だったかも知れません。次の特徴としましては、とにかく CT による 3 次元立体構造の報告が多かったことです。三次元像のインパクトはとて強く、特に Power Point を使った動画の発表ではその威力が遺憾なく発揮されます。多くの CT に関する発表の中では、P. Cloetens らの Holotomography は秀逸でした。得られた位相分布像は芸術の域に達していると思いました。

硬 X 線領域では新しい装置開発や方法論の発表が顕著でしたが、軟 X 線顕微鏡は応用研究花盛りといった感がありました。A. Hitchcock らの  $\mu$ -XAFS によるポリマー

の研究は、もはや走査型軟 X 線顕微鏡は一つのツールに過ぎない存在になってしまったような気がしました。また、P. Fischer による Magnetic imaging の発表では、磁区構造について計算と実験を比較するまでに実験技術が成熟していて驚きを隠せませんでした。研究成果と言うよりは、むしろ宣伝の趣の強かった発表がありました。Y. Wang らは、実験室光源 (rotating-anode) でゾーンプレートを使った X 線顕微鏡装置の商品化に成功しました。5.4 keV の X 線を用い、80 nm の空間分解能で露光時間 10 分ということでした。また、理由は分かりませんが、今回の会議では PEEM に関する発表が少なかったのが少し気になりました。その他の発表内容については、XRM02 のホームページ (<http://www.esrf.fr/conferences/XRM2002/index.html>) をご参照下さい。

前回設立された「THE WERNER MEYER-ILSE MEMORIAL AWARD」には 8 人のノミネートがあり、Award Committee による厳正な審議の結果、ニューヨーク州立大学の M. Feser が受賞者となりました。Segmented Detector を開発し走査型軟 X 線顕微鏡へ応用し、全モード (Bright field, Dark field, Nomarski differential Interference Contrast) の顕微鏡像が取得できるシステムを開発したことが評価されました。PhD の学生のレベルを遥かに越えるレベルに達している研究成果だと思いました。

今回の会議 (XRM2005) は SPring-8 がホストとなり日本で行われることになりました。開催場所としては姫路が予定されています。誘致世話人幹事の筑波大学の青木貞雄教授の演説が奏功し、日本への誘致に成功しました。3 年間に及ぶ誘致準備が実り、関係者の一人として非常に嬉しく思います。本国開催の次回会議では、諸外国の参加者を驚かせるような優れた研究成果がたくさん発表されることを期待しています。最後に今回の会議のプロシーディングスは Journal de Physique IV から出版されることをお知らせして、拙文を終わりにいたします。