

## ■会議報告

### REXS2013会議報告

田中良和 (理化学研究所・放射光科学総合研究センター)

共鳴弾性 X 線散乱国際会議 (REXS2013) が 7 月 15 日—19 日の 5 日間、前回フランスのアルプス Aussie で行われた REXS2011 を引き継ぐ形で開催された。開催機関はイギリス、Diamond Light Source である。比較的近くにあるオックスフォード大学の会議場を借りて会議が行われた。初日、筆者が町に到着後、道に迷っていると、声をかけた学生が親切にも宿舎 (Keble College) まで案内してくれた。その学生は現在、哲学科の post-graduate の学生で、日夜、哲学の勉学に励んでいるということであった (post-graduate とはどのような身分がよく分からなかったが深く追求しなかった)。彼の説明によると、オックスフォードには、40 近くのカレッジがあり、最も古いカレッジは、13 世紀に創設されたらしい。古いカレッジの建物は大切にされているが、比較的新しい Victoria 王朝時代の建築物は、あまり人々に好まれず、どんどん改築されているらしい。新しいといっても、150 年以上も昔の建物な

ので、ただその歴史のスケールの大きさに驚かされる。

オックスフォードの町はこのような歴史のあるカレッジの建物群で覆われており、古い建築物の中にも近代的な建築物が混在している。町全体が大学で構成されているといっても過言ではないだろう。この会議の期間中は、イギリスらしい天候は全く見られず、非常に過ごしやすい快適な晴天が続いていた。大学はすでに夏休みに入っていたが、町は観光客であふれており、とても賑やかであった。

本題に入る前にこの会議の歴史背景 (実は、筆者も前回から参加しているだけなので、あまり詳しくないのだが) について述べておきたい。この会議の歴史は、20 世紀後半から 21 世紀までの共鳴 X 線回折 (異常散乱) の発展に関連づけられると思う。はじめて開催されたのは、1974 年、スペインのマドリッド。この会議の名称は筆者は知らないが、会議の proceedings は、一冊の本 “Anomalous Scattering” (1975 年) にまとめられている。ご存じのよ

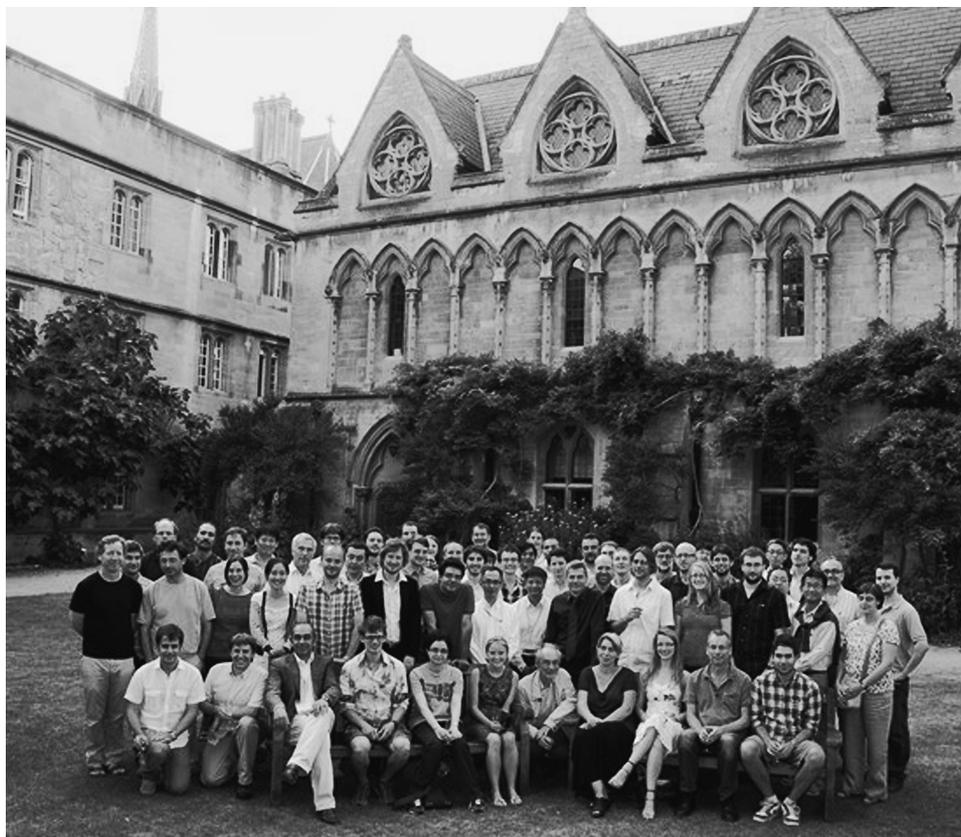


写真 1 REXS2013 集合写真。ディナーが行われた Exeter College の中庭にて。



写真2 Oxfordを流れるテムズ川で行われたExcursion。この屋台船でフィッシュ・アンド・チップスに舌鼓を打ちつつ（この表現に多少抵抗があるが）、クルーズを楽しんだ。

うにこの年は、まだ世界に専用のシンクロトロン放射光施設が存在しなかった時代である。当時は、対陰極のターゲットの種類を変えることによって異常散乱が行われていた。第2回の会議は、1992年ドイツのMalenteで行われた。当時、シンクロトロン放射光施設が日本、アメリカ、イギリス、フランスなどで稼働し始めて少なくとも5年以上経過後の開催である。この会議の名称は、“International Conference on Anomalous Scattering (ICAS)”である。その会議のproceedingsは、“Resonant Anomalous X-ray Scattering; Theory and Applications” (1994年)という一冊の本にまとめられ、共鳴回折の教科書的存在になっている。この時期は、筆者が共鳴磁気散乱をはじめた時期と重なっている。残念ながら、筆者はこの会議に参加していない。前文によると会議の参加者は約130名と書かれている。この本をひもとくと、当時のシンクロトロン放射光に対する研究者の熱狂ぶりをうかがい知ることができる。シンクロトロン放射光の利点は、単に強度だけでなく、そのエネルギー可変性にある。それが、共鳴X線回折にひとつのパラダイムシフトをもたらしたといえる。この本の最初の著者は、共鳴回折の創始者のひとりD. H. Templetonである。詳しく書かないが、前文に「1974年の会議は、X線管球の終わりと蓄積リングの夜明けであった」と書いている。

第3回の会議は、はじめに述べたようにフランス開催されたREXS2011、今回のREXS2013は第4回である。第1回と第2回の間が18年、第2回と第3回の間が19年である。最初の18年の期間は理解できるが、第2回と第3回の間が開きすぎている様に思われる。これについて筆者が釈明するのも変だが、この期間、「X線散乱と中性子散乱の相補的利用」などの名称で多くの会議が異なる主催者によって開催されている。ただ、一貫した連続性を保ちながら、会議が定期的にかかれてこなかっただけである。第3回会議の開催時に会議の名称についていろいろ議論があ

ったようだ。「共鳴非弾性散乱を加えるか否か」という問題については、会議の焦点がぼやけるという理由と、「共鳴非弾性散乱」自体、国際会議を定期的に開催しているという理由により、“elastic”を強調し、Resonant Elastic X-ray Scattering (REXS)としたようだ。また“scattering”とすることで“diffraction”以外の“reflectivity”などを含むことにしたようだ。また“anomalous”という単語はすでに死語である。いや死語にすべきである。なぜなら、Templetonが述べているように「我々はすでに物理現象を理解している。異常な現象は存在しない」ためである。

第3回会議に掲げられたこの会議の目的は、「放射光実験施設が利用され始めて30年近くになる。この間、生物、磁性、ナノサイエンスなど多岐にわたる領域で共鳴X線散乱が利用されている。これらをまとめて凝縮系科学のひとつの道しるべとする。多くの領域から若い世代と専門家が一堂に集い、共鳴散乱の理論、実験、応用研究について意見を交換する。」となっている。第4回会議もこれを受け継いでいる。

REXS2013について述べる。参加者は75名、日本人は7名であった。プログラムの形式はとてもよく考えられているという印象を持った。期間は15日(月)―19日(金)の5日間である。15日(月)は、“Student Day”と称して、初学者のための教育講座、Diamond Light Sourceの見学ツアー、リセプションなどがDiamond Light Sourceで行われた。筆者はこれには参加していない。会議本体は16日(火)―19日(金)午前中までの3.5日間である。オーラルプレゼンテーションが33件(招待講演15件)、ポスタープレゼンテーションが12件であった。質問時間を含めた1件の講演時間は30分(招待講演は35分)である。ポスターセッションは、プログラムの上では16日の18:00から19:00と設定されていたが、場所が講演ホールのロビーであったため、会議の期間中、たとえば休憩時間やランチタイムなどにいつでも話を聞くことができた。ランチは、主催者がサンドイッチや飲み物をロビーに用意してくださったので、参加者が雑談をしながら食べることができ、わざわざ外に出る必要がなかった。とてもよい方法だと思ったのは、各ポスター講演について約3-4分間のオーラルトークが与えられていることだった。一日に一度オーラルセッションの合間に30分の時間をとって4人程度が各自のポスターの内容について紹介を行った。

今回は、マルチフェロイック物質に関する講演が8件、XFELに関する講演が3件、強磁場下の回折や、カイラリティなどの回折技術に関する講演が6件あった。明らかに共鳴回折の技術そのものではなく、それをいかに使って個々の問題について情報を得るかという応用面の研究発表へとシフトしている。その中でも理研の玉作氏の講演は、非線形光学プロセスを共鳴領域で観測し、高空間分解能で電子状態に関する情報を得る研究についてであり、新たな息吹を投げかけるものであった。それでは、以下に筆

者が印象に残っている講演についてご紹介する。Yves Joly氏は、FDMNESの開発者である。このコードは、DFTに基づく第一原理計算によって、XANES, XMCD, (共鳴 X 線回折) RXD のエネルギースペクトルを計算することができる。彼の講演は、RXD のスペクトル解析に関するものであった。以前彼自身関わった magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) の実験結果について、Fe の K 吸収端のプレッジにおいて E1-E2 遷移がある可能性を示した。また2011年に V. Scagnoli らがサイエンスに発表した“Observation of Orbital Current in CuO”というタイトルの論文について考察し、彼らの結果は、複屈折効果を考えれば説明できることを示した。V. Scagnoli らは、円偏光を持つ Cu の L 吸収端近傍の軟 X 線を用いて、CuO の反射 1/2, 0, -1/2 の強度を測定した。その結果は、円偏光の極性 (右, 左) で強度が異なり、さらに方位角依存性があるという常識では考えられないものだった。彼らは E1-M1 遷移であることを仮定すれば、実験結果を説明できるとし、さらに“orbital current”という概念を導入した。今回の Yves Joly の説明によると、非対称的な物質の中では、複屈折効果によって偏光面が回転する。そのため、直線偏光を入射しても、X 線が物質内に進入するに従って楕円偏光になるということであった。従って、V. Scagnoli らの実験結果は E1-E1 遷移で説明できることまた“orbital current”という概念は必要ないことを示した。筆者は、彼の講演は今後の我々の研究に対する重要な警告を含んでいるという印象を受けた。特に軟 X 線領域では、複屈折効果が無視できない。そのため実験結果を解析する場合には、硬 X 線領域では必要がなかったエネルギースペクトル、偏光依存性、方位角依存性の理論を含めた総合的解析が必要になると思われる。

XFEL などを利用した時間分解 X 線回折に関する報告

は、前回1件だったが、今回は3件となった。もちろん、共鳴 X 線回折に関する論文数は硬 X 線、軟 X 線を問わず、ここ数年急速に伸びている。M. Forest氏は、Cu 酸化物、Mn 酸化物、Ni 酸化物などのいわゆる強電子相関物質の時間分解回折実験、主に軟 X 線共鳴回折について解説した。強電子相関物質では、電荷、スピン、軌道、格子などの秩序が相互作用し、新奇な性質を生み出している。このような物質にフェムト秒の短パルスレーザーを照射することによって、いままで誰も見ることができなかった非熱励起 (電子励起) 状態の秩序状態を調べることができる。たとえば、光励起によってアンダードープの銅酸化物を超伝導状態に誘起することができることなど興味深い物理現象が存在する。今回、彼は  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$  などのストライプ構造や  $\text{LaAlO}_3(111)$  面に蒸着した  $\text{NdNiO}_3$  の電荷秩序に関する時間分解軟 X 線回折について述べた。これらの実験は、主に LCLS や Diamond Light Source で行われている。この領域においては、すでに日本は出遅れているといっても過言ではないだろう。

Poalo Radaelli氏は、最近のマルチフェロイック物質 ( $\text{BiFeO}_3$ ,  $\text{TbMn}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnSi}$  など) に関する講演を行った。特に  $\text{BiFeO}_3$  に生じるドメイン構造について実験結果の紹介を行った。木村剛氏は、数多くあるマルチフェロイック物質へキサフェライトの分類、育成方法などを述べ、さらにマイクロフォーカスした円偏光軟 X 線による“spin chirality”のドメイン分布の観察について最新の実験データの紹介を行った。両氏の講演はともに、軟 X 線共鳴回折が他の実験手段では見ることができない情報を得るのに重要な役割を果たしていることを示している。

さて次回は、2016年ドイツのハンブルグで開催されることが決められた。3年後、よりいっそうの研究成果が発表されることであろうと期待する。