

■会議報告

第15回日本放射光学会若手研究会「放射光と顕微鏡技術・機械学習との交差点」報告

菅 大暉 (高輝度光科学研究センター)
河智史朗 (兵庫県立大学)
上野哲朗 (量子科学技術研究開発機構)
武市泰男 (大阪大学)

昨今、放射光源の高輝度化と検出器・計算機の性能向上により、顕微鏡技術（イメージング）の発展と利用研究の展開が進んでいる。一方で、中性子線などの量子ビームや電子線・可視光などによるイメージング手法の発展も目覚ましく、マルチプローブ・マルチモードといった相補利用が当たり前になりつつあり、放射光以外の手法で確立された技術が放射光実験に新たな発展をもたらすことも少なくない。さらに実験系の研究者とデータ科学・機械学習の研究者とのコラボレーションが盛んに行われており、マテリアルズ・インフォマティクスや計測インフォマティクスといった研究分野を形成している。

本研究会ではこれからを担う若手研究者が、これらの状況にどのように対応していくべきかを議論すべく、国内放射光施設の硬・テンダー・軟 X 線イメージング関連チームライン担当者に加えて、様々なイメージング手法の第一線の研究者、データ科学・機械学習の研究者にご登壇いただき横断的な知識共有を目指した。

本研究会は2023年9月11日～12日の2日間にわたって、大阪大学吹田キャンパス（現地会場）およびオンラインのハイブリッド形式で開催された。日本放射光学会および科研費・学術変革領域研究（A）「データ記述科学」材料科学班の主催、3団体（公益財団法人高輝度光科学研究センター/国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子技術基盤研究部門 関西量子科学研究所/公立大学法人兵庫県立大学）の共催として開催された。

表1に研究会のプログラムを示す。はじめに世話人代表の菅より研究会の趣旨説明が行われた。各セッションでは放射光顕微分光チュートリアルや機械学習チュートリアルなど、テーマを決めて各3名の招待講演者にご講演をいただいた。各手法の背景や現状について理解することができ、どの分野も共同研究の推進に非常に前向きであることができた。具体的には以下に記す通りである。

セッション1「放射光顕微分光チュートリアル」では、放射光を用いたイメージングを専門とする3名にお話頂いた。荒木暢氏（分子科学研究所）からは本研究会における放射光顕微分光法の導入的発表として、走査型透過 X 線顕微鏡（Scanning Transmission X-ray Microscopy,

STXM）を軸に軟 X 線・テンダー X 線領域での放射光顕微分光の現状と将来への展望についてご講演頂いた。関澤央輝氏（高輝度光科学研究センター）からは硬 X 線を利用した2次元・3次元分光イメージング計測について、ビームラインサイエンティストを務める SPring-8 の BL37XU での走査型・全視野投影型・全視野結像型による実例を交えた内容でご講演頂き、データ駆動科学を取り入れたことで実現された高速3次元計測の事例についてもご報告頂いた。鈴木真粧子氏（群馬大学）からは軟 X 線反射率を利用した化学状態・磁気状態の3次元イメージング法の開発に関するご講演を頂き、挑戦的な開発における困難や、シミュレーション等を組み合わせ得られる知見を活かした装置開発の重要性などについての話題提供を頂いた。

セッション2「機械学習チュートリアル」では、機械学習や計測インフォマティクスを専門とする3名にお話頂いた。安藤康伸氏（産業技術総合研究所）からは EM（Expectation-Maximization）アルゴリズムを用いた物理モデル推定についてご講演頂いた。五十嵐康彦氏（筑波大学）からはスパースモデリングによる顕微分光（nano ESCA）像の超解像についてご講演頂いた。横山優一氏（高輝度光科学研究センター）からはベイズ推定を用いた時分割 X 線回折のデータ解析についてご講演頂いた。

1日目の最後には、Special Session として日本・海外を代表する放射光イメージングのパイオニア研究者それぞれにご講演をいただいた（図1）。高橋幸生氏（東北大学）からは、SPring-8 にて行ってきたテンダー/硬 X 線領域でのタイコグラフィーの最先端と NanoTerasu で展開するこれからのことについてご講演をいただいた。Jörg Raabe 氏（Paul Scherrer Institut）からは PSI の Swiss Light Source での STXM 技術の最新応用のご紹介とともに、世界最先端である硬 X 線領域での冷却環境下タイコトモグラフィや、タイコラミノグラフィによる大面積試料の観察などに関する技術とそれらの応用例をご紹介いただいた。両ご講演とも特別セッションにふさわしい目を見張る内容であり、世界から見た日本の立ち位置を再認識できただけでなく、我々がもつ強みを活かして今後どのように放射光

表1 研究会のプログラム。

第1日目 (9/11)	
11:30	受付開始
12:20	趣旨説明
	Session 1: 放射光顕微チュートリアル 座長：菅大暉（高輝度光科学研究センター）
12:30-13:00	荒木暢（分子科学研究所）
	“Soft and Tender X-ray Spectromicroscopy: Current Status and Future Perspectives”
13:00-13:30	関澤央輝（高輝度光科学研究センター）
	「硬 X 線を利用した 2/3 次元分光イメージング計測」
13:30-14:00	鈴木真粧子（群馬大学）
	「軟 X 線反射率を用いた三次元イメージング法の開発」
	Session 2: 機械学習チュートリアル 座長：上野哲朗（量子科学技術研究開発機構）
14:15-14:45	安藤康伸（産業技術総合研究所）
	「EM アルゴリズムによるボアソン誤差を考慮した安定な物理モデル推定」
13:45-15:15	五十嵐康彦（筑波大学）
	「スパースモデリングを用いたマルチフレーム超解像による放射光顕微分光画像への展開」
15:15-15:45	横山優一（高輝度光科学研究センター）
	「ベイズ推定によるダイナミクスの情報抽出～時分割 XRD への適用例～」
15:45-17:00	ポスターセッション
	Special Session Chair: Yasuo Takeichi (Osaka University)
17:00-17:30	Yukio Takahashi (Tohoku University)
	“X-ray spectroscopic ptychography: Current status and future prospects”
17:30-18:30	Jörg Raabe (Paul Scherrer Institut)
	“X-ray Microscopy and Spectroscopy at the Swiss Light Source”
	写真撮影
	研究交流会
第2日目 (9/12)	
	Session 3: 顕微イメージング利用研究 座長：関澤央輝（高輝度光科学研究センター）
09:00-09:30	高橋嘉夫（東京大学）
	「顕微 XAFS 法を用いた環境・資源・惑星に関わる分子地球化学研究」
09:30-10:00	松本恵（東北大学）
	「放射光イメージングを活用したはやぶさ2リターンサンプル分析」
10:00-10:30	木村正雄（高エネルギー加速器研究機構）
	「材料科学分野での X 線顕微鏡の応用例とその多次元ビッグデータからの情報抽出の試み」
	Session 4: コヒーレントイメージングと機械学習 座長：岩澤英明（量子科学技術研究開発機構）
10:45-11:15	山崎裕一（物質・材料研究機構）
	「時分割軟 X 線回折イメージングに向けた取り組み」
11:15-11:45	押目典宏（量子科学技術研究開発機構）
	「Bragg コヒーレント X 線回折イメージング法による微結晶一粒子の非破壊観察」
11:45-12:15	原聡（大阪大学産業科学研究所）
	「深層学習によるスパース画像復元の高速化」
	Session 5: イメージング技術1 座長：木村正雄（高エネルギー加速器研究機構）
13:30-14:00	竹田幸治（日本原子力研究開発機構）
	「SPring-8 BL23SU RI 実験棟での STXM の整備」
14:00-14:30	山本駿玄（株式会社ユニソク）
	「走査トンネル顕微鏡を用いた局所発光測定による磁性研究」
14:30-15:00	熊本康昭（大阪大学）
	「ラマン散乱光によるバイオイメージング」
	Session 6: イメージング技術2 座長：河智史朗（兵庫県立大学）
15:15-15:45	藤原孝将（量子科学技術研究開発機構）
	「放射光メスバウアー顕微鏡の開発」
15:45-16:15	高橋龍之介（兵庫県立大学）
	「超短パルスレーザーを用いた高速磁気イメージング」
16:15-16:45	辻成希（高輝度光科学研究センター）
	「コンプトン散乱イメージングの開発」
	閉会の挨拶



図1 Special Session で講演する高橋博士（上）と Raabe 博士（下）。

イメージングに取り組んでいくべきかを強く意識させられた。

2日目午前のセッション3「顕微イメージング利用研究」では、放射光のヘビーユーザー3名にご講演いただいた。高橋嘉夫氏（東京大学）からは、顕微 XAFS 法を環境・資源・惑星試料に適用してそこから得られる化学状態から目的元素の挙動を理解する「分子地球化学」についてのご講演をいただいた。放射光分析において信頼できる正しいデータが常に取得できることの重要性や、技術的部分から未だに検出できていない成分や状態の観測を目指した技術的試み、他分析手法と組み合わせることで放射光顕微分光がより力を発揮することについて力強く語っていただいた。松本恵氏（東北大学）からは、SPring-8にある種々の X 線 CT システムをフルに活用しておこなった、JAXA はやぶさ2 ミッションによる小惑星リュウグウのリターンサンプル分析についてのご講演をいただいた。試料の量や数に限りがある状況で、非破壊→破壊という分析フローにおいて、各分析から最大限の情報を抽出する技術的困難さや、この部分における放射光分析の重要性について存分に情報共有いただいた。木村正雄氏（高エネルギー加速器研究機構）からは、材料科学分野での X 線顕微鏡の実用事例と、そこから得られた多次元ビッグデータに対して機械学習を活用して情報抽出を行った試みについて実例を交えてご講演をいただいた。また、本研究会の共同主催である科研費・学術変革領域研究 (A)「データ記述科学」(2022~2026年度)の取り組みについてもご報告を頂いた。

セッション4「コヒーレントイメージングと ML」では、コヒーレント回折イメージング (Coherent diffraction

imaging, CDI) に関する講演2件に加え、機械学習を用いた超解像技術に関するご講演をいただいた。山崎裕一氏（物質・材料研究機構）からは軟 X 線コヒーレント回折イメージングやマイクロ波励起による磁気ダイナミクスについてお話し頂いた。押目典宏氏（量子科学技術研究開発機構）からは Bragg コヒーレント X 線回折イメージングによる微結晶の3次元可視化についてお話し頂いた。原聡氏（大阪大学）からはある種の物理情報を事前知識として用いた深層学習によって顕微鏡画像の超解像が可能になることを非常にわかりやすく解説して頂いた。

セッション5「イメージング技術1」では、最初に竹田幸治氏（日本原子力研究開発機構）に、SPring-8 BL23SUにおける核燃料使用施設での STXM 開発の概要についてご発表いただいた。次に山本駿玄氏（株式会社ユニソク、元理化学研究所 Kim 表面界面化学研究室）から、スピン偏極走査トンネル顕微鏡を用いた発光スペクトルの解析から、極微領域のスピンダイナミクスの研究についてご発表いただいた。また、開発・販売を行っている新しい冷凍機をベースとした走査プローブ顕微鏡についてもご紹介いただいた。セッション最後に、熊本康昭氏（大阪大学）からラマン散乱光によるバイオイメージングについてご発表いただいた。特に、医療分野への応用を見据えたイメージング計測の高速化の取り組みについてわかりやすくご紹介いただいた。

セッション6「イメージング技術2」では、最初に藤原孝将氏（量子科学技術研究開発機構）に、 ^{57}Fe 原子核の共鳴散乱を利用した放射光メスハウアー顕微鏡の開発についてご講演をいただいた。高分解能モノクロメーターや特殊な分光結晶によってナノ電子ボルト (neV) オーダーに単色化された集光ビームを活用した3Dイメージングについてご紹介された。続いて、高橋龍之介氏（兵庫県立大学）には、超短パルスレーザーと磁気光学 Kerr 効果顕微鏡を用いたポンププローブ型の高速磁気イメージングの研究についてご発表いただいた。特に、フェリ磁性の遷移金属酸化物薄膜における高速磁区観察から、サブミクロン領域における光磁化スイッチングのダイナミクスについて詳しくご講演された。最後に、辻成希氏（高輝度光科学研究センター）より、高エネルギー X 線によるコンプトン散乱を用いた様々なイメージング手法開発についてご発表いただいた。後半では、磁気コンプトン散乱イメージングについてもわかりやすくご説明いただいた。

研究会の Closing Remarks では、本研究会の共同主催である科研費・学術変革領域研究 (A)「データ記述科学」材料科学班を代表して、木村正雄氏（高エネルギー加速器研究機構）より本研究会の総括をいただき、若手に対する今後の期待についてもお言葉を頂いた。また、「趣旨に沿ったクロスオーバーとしての研究会は成功だろう」とのお言葉をいただいたことは非常に世話人冥利に尽き、今後このような会（コミュニティ）を何らかの形で継続していく

ことが非常に重要であると感じた。

ポスターセッションや研究交流会では人材発掘や若手研究者のネットワーク形成に期待した (図2)。ポスター発表は5件と多くはなかったが、ポスター会場とそれに隣



図2 ポスターセッションの様子。

接するコーヒースペースでは今後の研究展開につながるような活発な議論・交流が行われていた。1日目の研究会後に開催された研究交流会では実際の共同研究に向けた議論・交流や、ここでしか話せない腹を割った本音の共有などが行われており、研究会の間の休憩では足りなかった交流の時間をここで確保できたと感じた。

本研究会の会議情報は日本放射光学会 Web サイト上に作成した研究会 Web ページ (https://jssrr.smoosy.atlas.jp/ja/notices/wakate_15) の他、SPring-8 の Web サイトにも掲載 (<http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2023/20230911/>) して頂いた。また SPRUC や PF-UA 等のユーザー団体や関連学会のメーリングリストで告知を行った結果133名の参加登録があった。図3に参加者の各種属性を示す。参加形態としてはオンライン82%、現地18%となった (図4)。コロナ禍によって普及した学会・研究会のハイブリッド開催において、気軽に参加できるオ

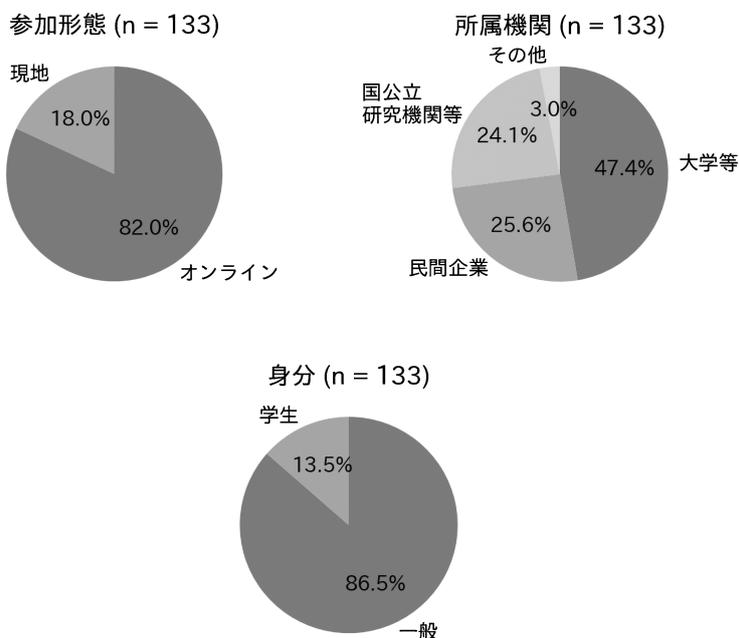


図3 一般参加者の参加形態、所属機関、身分。



図4 オンサイト参加者の集合写真 (1日目)。

オンライン開催の需要は高いようだ。また参加者の所属機関別の割合は、大学等（大学・大学共同利用機関法人・高等専門学校など）47.4%，民間企業25.6%，国公立研究機関等（国立研究開発法人・財団法人など）24.1%，その他3%であった。産官学問わず多くの方々に参加いただき、本研究会のテーマへの関心の高さがうかがえた。参加者の身分の内訳は一般（教員・ポスドク・スタッフなど）86.5%，学生13.5%だった。若手研究会の趣旨としては多くの学生の方に参加して頂きたかったのだが、やや寂しい結果となった。今後はSNS等の活用も含めた宣伝方法の改善、また学生の参加を促すようなプログラム構成などの工夫が必要となるだろう。

最後に、主催・共催をいただきました団体の皆様、講演

者と参加者の皆様、研究会の準備や運営にご協力いただいた皆様、並びに放射光学会事務局の皆様にご心より感謝申し上げます。特に、日本放射光学会事務局の佐藤亜己奈様、行事幹事の阿部仁先生（高エネルギー加速器研究機構）には申請から開催後まで広くお助けいただきました。また、会場や会議運営機器をご提供いただいた大阪大学大学院工学研究科物理学系専攻 応用物理学コースに感謝の意を表します。さらに、応用物理学コースの小野寛太教授および、研究室の皆様には会場設営・会議運営などで多大なご助力をいただきました。皆様のご協力のおかげで、交差点を迎えたこの時代に若手研究者はどう連携して歩んでいくべきかの一端が掴め、今後のイメージング技術の活用とコミュニティ発展に資する研究会とすることができました。