

出来る限り、以下の様式に沿った議事録を作成下さいますようお願いいたします。

(様式 2)

議事録番号

提出 2020 年 2 月 20 日

会合議事録

研究会名：キラル磁性・マルチフェロイックス研究会、コヒーレント X 線物質
科学研究会、QST 播磨セミナー 合同研究会

日 時：2020 年 2 月 10 日 (月) 13:25 - 17:00

場 所：大型放射光施設 SPring-8 上坪記念講堂

出席者：(議事録記載者に下線)

加藤政博 (広島大/分子研)、井上克也 (広島大)、石貫達也 (広島大)、泉雄大
(広島大)、眞邊潤 (広島大)、高橋浩久 (放送大)、町田晃彦 (量研)、和達大
樹 (兵庫県立大)、福井宏之 (兵庫県立大)、横山優一 (JASRI)、大隅寛幸 (理
研)、河村直己 (JASRI)、J. Harries (量研)、水牧仁一朗 (JASRI)、香村芳樹
(理研)、大和田謙二 (量研) 計 16 名 (名簿記載者のみ)

議題：

コヒーレント X 線回折イメージングへの情報科学の適用状況についてや、次世
代光源で期待される波面制御について話題提供を行い、キラル・トポロジカル
な物質系とのマッチングを議論するほか、SPring-8 次期計画で目指すサイエン
スを議論する。

議事内容：

プログラム（敬称略）

- 13:25-13:30 開会の挨拶
大和田謙二（量子科学技術研究開発機構）
座長：水牧仁一郎（高輝度光科学研究センター）
- 13:30-14:10 「スパースモデリングに基づく位相回復アルゴリズム」
横山優一（高輝度光科学研究センター）
- 14:10-14:40 「周期構造光によるブラッグ反射の制御と X 線軌道角運動量生成の最近の展開」
香村芳樹（理化学研究所）
- 14:40-15:20 「光軌道角運動量によるランダウ準位分光」
高橋浩久（放送大学）
- 15:20-15:30 休憩
座長：大和田謙二（量子科学技術研究開発機構）
- 15:30-16:00 「キラル磁性・マルチフェロイックス研究におけるコヒーレント X 線への期待」
大隅寛幸（理化学研究所）
- 16:00-16:55 総合討論
- 16:55-17:00 閉会の挨拶
井上克也（広島大学）

講演：

1. スパースモデリングに基づく位相回復アルゴリズム 横山優一氏（高輝度光科学研究センター）

コヒーレント X 線回折イメージング (CDI) の位相回復アルゴリズムについて詳細に紹介された。実験によって失われた位相を回復する際、実空間拘束条件のところでのどのような処方箋をとるかによってさまざまな

アルゴリズムが存在する。スパースモデリングでは対象のスパース性に注目し、L1 正則化項を導入し観測データとの誤差を最小化しつつスパースな解を求める。シミュレーションによれば、孤立スキルミオンからスキルミオン結晶までその状態によらず幅広く像回復に成功したほか、情報欠損データやノイズの乗ったデータからの位相回復に対しても高い収束安定性を示した。本アルゴリズムは系がスパースであるときに強力である。ドメインなどの一見均一な系においては不利に思えるが、微分から求まる境界はスパースであり、この観点から TV 正則化を実用につなげたい考えであることが紹介された。

Y. Yokoyama *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **88**, 024009 (2019).

2. 周期構造光によるブラッグ反射の制御と X 線軌道角運動量生成の最近の展開 香村芳樹氏 (理化学研究所)

CDI に限らず従来の X 線散乱・回折は平面波 X 線の利用を前提にするが、波面に構造を持たせた「構造光」の利用は未開拓の領域である。まず、タルボ効果を利用した周期構造光の生成と、その光を用いてブラッグ禁制反射における分散面のギャップの開閉 (光の局在化) を制御した話題が紹介された。次に、SiC 単結晶の螺旋転位を利用した軌道角運動量を運ぶ X 線光渦の生成・評価に関する話題が紹介された。

3. 光軌道角運動量によるランダウ準位分光 高橋浩久氏 (放送大学)

電子系と軌道角運動量を持った光との相互作用は興味のあるところである。まず、電気双極子遷移の範囲内では光渦は重心運動系としか相互作用しないことを示した論文 (Babiker *et al.*, PRL2002) が紹介された。上記相互作用を見るには束縛された電子系が必要であり、2 次元電子ガスに強磁場をかけて現れるランダウ準位に光の軌道角運動量を吸収 (転写) させ光電流の誘導を観測する方法を量子論的に考察し、 $J=1$ の時に吸収が

起きる修正選択測が見出された。現実的に観測可能な条件はテラヘルツ帯の波長をもつ円偏光光渦 ($l = 0$ & $\sigma = 1$, $l = 2$ & $\sigma = -1$) を数十テスラの磁場がかけられた2次元電子系 (GaAs/AlGaAs 界面) に照射する実験系である。その際、光渦の位相特異点をサイクロトロン振動している電子の分布する円盤状試料の中心に合わせる事が重要である。光渦の暗リングと円盤状試料の端部とが重なったときに電流 (エッジ電流) 応答が消えるため、磁場に対して電流応答が振動する。最後に、多極子遷移に拡張するなどの今後の展開が紹介された。

H. Takahashi *et al.*, JPSJ **87**, 113703 (2018).

4. キラル磁性・マルチフェロイックス研究におけるコヒーレント X 線への期待 大隅寛幸 (理化学研究所)

まずキラル磁性・マルチフェロイックス研究においては、対称性の破れに起因する光学効果に注目している事が紹介された。次に、円偏光 X 線回折によるスピנקイラリティの識別や円偏光 X 線回折による結晶キラルリティの識別、走査型 X 線顕微鏡の開発等の紹介が行われた。キラル磁性体では巨視的にコヒーレントなスピン位相が実現されていることや広い磁場領域でカイラルソリトン格子のトポロジカル数が保持されていることなどが紹介され、コヒーレント X 線利用への期待が述べられた。



図：研究会の様子

総合討論：

CDI の実施環境について：

CDI については、その実施可能であるビームラインが基本的には理研 BL や専用 BL であり、かつ、それらのセットアップが常設でないことを踏まえ、CDI 用セットアップが常設されていて一般共同利用が可能であるビームラインの整備（硬・軟両方）が必要であるとの意見が出された。中型放射光施設が台頭し CDI が広く普及しつつある現在、CDI は計測対象勝負の局面に移行しつつあるように思われるため、永くその開拓者としての役目を担ってきた SPring-8 においてもユーザーに広く CDI の環境を提供し、応用可能な領域を開拓する必要があるように思われる。

その際、装置担当者や（今回のスパース位相回復アルゴリズムのような）解

析手法の開発、光学系、試料準備環境（FIB、SEM）等の整備をセットで考える必要があるだろう。

コヒーレント X 線利用に期待することについて

大域構造のイメージングが可能となる CDI の特徴は、不均質系の可視化にとどまらず、コヒーレントな量子系（カイラルソリトン、トポロジカルソリトン）の可視化にも有用なはずである。構造光によりポンプ、コヒーレントビームによりプローブする、などが期待される。光子相関法を用いたトポロジカルソリトンのダイナミクス計測も期待される。

構造光について：

高コヒーレント光源が実現される近未来においては、波面制御が行いやすくなると思われる。これにより、例えば、従来の平面波利用からもう一段進んだ構造光の利用が考えられる。ただし、構造光の利用には様々なハードルがあることがこれまで SPRUC の 2 期 4 年にわたって行ってきた議論から明らかになってきている。今回の研究会においても、理論的考察からプローブと計測対象との構造（スケール）上のマッチングが極めて重要であることが示された。しかし、この困難を乗り越えれば全く新しい研究分野が拓けてくることも期待できるため、革新ビームラインによる継続的な研究開発を期待したい。

X 線の構造を計測対象にマッチングさせて転写する（相互作用させる）ことには技術的課題が多いが、一方で、構造光生成素子を受光系に使ったイメージングにより計測対象の特異点などを可視化する技術はすでに達成されており、こちらからのアプローチによる応用展開に期待したい。

まとめ：

今回の研究会では様々な視点から最新の話題が提供されたが、これらを横断するキーワードである、位相欠陥や位相特異点、あるいは局在などに注目した

研究開発は、新分野の開拓に繋がると期待されることから、その実施は意味のあることに思える。コヒーレントビームの利用は位相欠陥・位相特異点・局在現象等の可視化に力を発揮すると考えられる。このように関心事の重なりが生じ始めた動向を踏まえ、第 5 期研究会へ向けた研究会の統合なども視野に考えてゆきたい。