

CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials の JPSJ ポスター賞を受賞して

物質設計評価施設 廣井研究室 平井 大悟郎

2019年5月22-24日に東京大学(本郷キャンパス)の伊藤国際学術研究センターで行われた国際会議 CEMS-QPEC Symposium on Emergent Quantum Materials にて”JPSJ Poster Prize”を受賞する榮譽に恵まれました。本シンポジウムにて発表された約70件のポスターの中から Nature, Science, Journal of the Physical Society of Japan(JPSJ)の編集者がそれぞれ1件ずつ発表を選び、ポスター賞が授与されました。CEMSシンポジウムは1996年から続き、今回で18回目となる歴史ある会議です。大規模な国際会議でしか講演を聞けないような著名な国内外の先生方が多数最先端の成果を発表されており、口頭発表やポスター発表もレベルの高いものばかりでした。また、ポスターセッションでは活発な議論がなされ、招待講演の先生方を含め様々な方から貴重なコメントをいただきました。毎回素晴らしい会議なので、次回もぜひ参加したいと思います。

受賞の対象となった研究は、「スピン軌道結合状態の5d遷移金属化合物における四極子秩序の観測」です。私たちは、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ という物質の純良な単結晶を育成し、放射光による回折実験を行うことで、四極子秩序という複雑な電子の秩序状態が実現していることを明らかにしました。この研究は4年ほど前に私が物性研に着任したころから取り組んできた思い入れのある研究で、このような形で評価していただき非常にうれしく思っています。研究を行うにあたり、物性研究所内では廣井先生に、所外では新領域の有馬先生、KEKの佐賀山先生、理研有馬グループのS. Gaoさん、理研SPring-8の大隅さんに大変お世話になりました。構造の微小な変化やモーメントの極めて小さい磁気秩序を観測する実験はチャレンジングでしたが、共同研究者の方々のおかげで当初予想していた以上の成果を得ることができました。共同研究者の皆様に、この場をお借りして深く感謝申し上げます。

私は物性研に着任以来、5d遷移金属を含む物質に着目して研究を行っています。皆さんにはあまり馴染みはないと思いますが、鉄や銅などの3d遷移金属から見て、周期表の2つ下の段にある白金などの元素が5d遷移金属です。これらの、周期表の下の方にある、原子番号の大きな元素

では、スピン軌道相互作用という力が働き、電子の持つ自由度であるスピンと軌道角運動量を結合させます。スピン軌道相互作用はスピントロニクスやトポロジカル絶縁体の分野でもキーワードとなっており、これらの分野では白金やビスマスなどの重元素がよく研究対象として登場します。さて、このスピン軌道相互作用は、4f電子を持つ希土類元素ではよく知られた効果でしたが、d電子をもつ遷移金属において重要な役割を果たすことは最近まであまり認識されていませんでした。というのも、d電子は空間的に広がっており、周りのイオンからのクーロン反発を受けて軌道角運動量が消失してしまうため、スピンと軌道の結合状態を考える必要がないからです。しかし、5d遷移金属ではスピン軌道相互作用の効果が無視できなくなり、スピンと軌道が結合した電子状態が実現することがわかってきました。

スピンと軌道が結合した電子は、より多くの自由度を持っており、磁気秩序よりも複雑な秩序状態をとることができます。磁気秩序は小さな磁石“スピン”の秩序です。磁石は+と-の2つの極があるので双極子です。これが+、-, +,-, の4つになれば四極子、8つなら八極子とより複雑な磁石を考えることができます。この複雑な磁石の整列した状態を四極子秩序や八極子秩序と呼びます。私は様々な測定によって、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ において四極子の秩序ができていたという間接的な証拠を得ていました。しかし、四極子のような複雑な秩序は検出が非常に困難でした。

この問題は3次元的な秩序を決定する強力な手法である回折実験によって解決しました。私は、フォトンファクトリーとSPring-8の2つの放射光施設で、非常に明るい光を使った回折実験を行い、もとの原子配列の1/1000というわずかな結晶構造の変化を観測することで四極子の秩序を検出しました。これはd電子のつくる四極子の詳細が初めて明らかになった例です。

研究を進める上でネックとなったのは、純良な単結晶を作ることでした。四極子の秩序はわずかな構造の変化しか引き起こさないため、結晶に欠陥や不純物が含まれるとその変化はすぐに見えなくなってしまいます。また、レニウムという元素は様々な酸化数をとるため、目的の物質を作るにはきちんと雰囲気を制御し、十分な大きさの結晶が育

