

「テラヘルツ科学の最先端 VIII」最優秀若手研究者賞を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター 松永研究室 特任研究員 室谷 悠太

2021年11月24・25日に行われたシンポジウム「テラヘルツ科学の最先端 VIII」において、最優秀若手研究者賞を受賞する栄誉に与りました[1]。この賞は、学術の向上に貢献する優秀な発表を行った若手研究者1名に授与されるものです。授賞式は2021年11月25日にオンラインで行われました。発表に対して賞を頂くのは今回が初めてで、大変嬉しく思っております。物性研だよりへの寄稿も早くから打診を受けていましたが、関連論文が出版されたら……と考えているうちに、一年が経過してしまいました。先日ようやく論文が出版され [2]、ついに本稿に手を付ける運びとなったわけです。研究者の皆様は百も承知だと思いますが、査読とはままならないものですね。

受賞対象となった発表のタイトルは「テラヘルツ駆動されたディラック半金属 Cd_3As_2 における誘導レイリー散乱と室温無散逸スローライト生成」です。根底にあるのはフロッケ・エンジニアリングと呼ばれる現象への興味です。エネルギーバンドを持つ固体にレーザー光を当てると、電子が光子の衣をまとって「フロッケ状態」と呼ばれる状態を作り、新たな物性を発現することが予想されています。フロッケ状態が形成されること自体はトポロジカル絶縁体を対象に角度分解光電子分光によって確かめられていますが、電気伝導や光吸収といった基本的物性にフロッケ状態がどのような影響を与えるかはこれまで明らかになっていませんでした。

そこで、松永研では三次元ディラック半金属 Cd_3As_2 に注目してフロッケ状態の研究を進めてきました。ディラック半金属は、普通の金属と違って、自由電子が質量0の粒子として振る舞う物質群です。このことから、電子が散乱を受けにくい、長波長の光でもバンド間遷移が可能といった特徴が現れ、フロッケ・エンジニアリングを実践するのに適した舞台となっています。光吸収による加熱を抑えてフロッケ状態を作るために、励起光には光子エネルギーの低いマルチテラヘルツ波を用いました。周波数にして10-60 THz程度のマルチテラヘルツ帯は従来の技術では精密な分光が難しく、比較的最近になって技術開発が進んできた帯域です。高強度マルチテラヘルツ光源の開発には松永隆佑 准教授だけでなく、物性研の吉信淳 教授、小林洋

平 教授らのご協力をいただきました。また、プローブ光には周波数 12-45 THz を一度にカバーする広帯域マルチテラヘルツパルスを用いました。このパルスを用いた超高速分光技術は神田夏輝 助教らによって開発されたものです[3]。以上の実験系を用いて Cd_3As_2 薄膜に励起光を照射している間の吸収スペクトルを測ったところ、励起光の周波数(30 THz)を挟んで低周波側に吸収ピーク、高周波側に光学利得のピークが現れることが分かりました。これは従来の理論では全く予想されていなかった応答です。

物性研の池田達彦 助教との共同研究により、この現象はポンプ光と共鳴する遷移周波数を持ったフロッケ状態間の遷移に起因するものであることを示しました。この過程が見落とされていたのは、光電場との二次の相互作用を媒介する「反磁性結合」が軽視されていたことによります。平衡状態では反磁性結合は光吸収に寄与しないのですが、励起光が当たっている間は無視できなくなるのです。以上の微視的な理解から巨視的な有効モデルを作ることによって、この現象がプラズマ振動にアシストされた誘導レイリー散乱とみなせることも示しました。誘導レイリー散乱は、光励起された領域の屈折率が変化することで励起光がプローブ光と同じ向きに回折され、吸収や光学利得を引き起こす現象です。個々の電子は反磁性結合を介して少しずつ屈折率を変えますが、固体中には電子がたくさんあるため、それらが積み重なって巨大な屈折率変化に至ります。その現れの一つがプラズマ振動の顕著なブルーシフトであり、もう一つが巨大な誘導レイリー散乱であったわけです。

誘導レイリー散乱に付随する現象として、本研究では100 GHz 近い帯域幅にわたって光の群速度が300分の1程度に小さくなる様子も観測しました。このようにして光の群遅延を操作することはスローライト生成と呼ばれ、光情報処理の一翼を担うものとして期待が持たれています。金属的な物質は誘導レイリー散乱のようなコヒーレントな現象には向かないと考えられがちですが、決してそんなことはなく、むしろ短パルスのスローライト生成には有利であることが分かりました。以上のように、フロッケ・エンジニアリングの考え方によって物質の新しい機能性を引き出すことができたと考えています。



