

光で破る結晶の鏡映対称性

[1] 要旨

光照射に誘発される電子状態の変化は古くから研究されているが、光照射によって電子状態の対称性を直接的に変調することが近年注目を集めている。本研究では、励起光を照射したグラフェンの鏡映対称性を理論的に調べることによって、円偏光や直線偏光を使ってグラフェンの結晶が持つ2種類の鏡映対称性を破ることができることが発見された。この鏡映対称性の破れは非対角電気伝導度が有限になることで特徴付けられる。本研究成果は、新しい光誘起現象や光制御機構の発見につながる。

[2] 本文

対称性の破れは自然現象を理解する上で重要な概念である。例えば、磁石では大多数の電子の磁気モーメントが特定の向きに整列するが、そこでは時間反転対称性の破れが重要な役割を果たす。ここで、時間反転対称性とは時間の進む向きを逆転した時の性質で、元と同じ状態にならない場合を時間反転対称性が破れていると言う。通常、ある対称性が破れた状態を実現するには、温度などを変えて相転移（水が液体から固体に変わるような変化）を引き起こすか、初めからその対称性が破れている物質を作り出す必要がある。

近年、励起光を利用した対称性の破れが活発に研究されている。励起光は物質中の電子を励起して、電子状態を変化させることができる。それはポンプ光とも呼ばれ、電子の状態を調べるために使われるプローブ光とは別のものである。例えば、励起光として円偏光を物質に照射すると時間反転対称性を破ることができる。この光による時間反転対称性の破れを利用することで、非磁性物質を磁石にしたり、異常ホール効果を誘起したりできる。ここで、異常ホール効果とは物質に電場をかけてそれと垂直な方向に電流を生成できる現象であり、電子状態が特別な対称性の場合のみ実現できる。

これまでの活発な研究にもかかわらず、光照射で鏡映対称性を破ることが可能かどうか未解明であった。鏡映対称性とは鏡に映した時の性質で、鏡に映した状態が元と一致する場合を鏡映対称性があると言い、そうでない場合を鏡映対称性が破れていると言う。励起光を使って鏡映対称性を破る方法が確立できれば、鏡映対称性の破れを伴う現象を光で誘起して制御することが可能になる。これは基礎科学としてだけでなく、応用においても解明すべき重要課題であった。

最近、中央大学の荒川直也専任研究員と米満賢治教授は、励起光を物質に照射することにより鏡映対称性を破ることができることを初めて明らかにした。具体的には、励起光を照射したグラフェンを例に取り、グラフェンの結晶が本来持っていた2種類の鏡映対称性が偏光によってどう変わるかを理論的に解析した。その結果、円偏光や直線偏光による電子状態の変化がそれらの鏡映対称性の破れを引き起こすことを示した。この成果は、JPSJの2024年8月号に掲載された。

その成果に加え、励起光を当てたグラフェンの電流生成現象も解析し、上記の鏡映対称性の破れが非対角電気伝導度を有限にすること（図1）、その非対角電気伝導度が時間反転対称性の破れを伴う円偏光の場合には反対称成分を持ち、時間反転対称性を保つ直線偏光の場合に対称成分を持つことも明らかにした。ここで、非対角電気伝導度は、ある方向に電場を当ててそれと垂直な方向に電流が流れた時に有限になる量である。非対角電気伝導度の反対称成分が異常ホール効果の応答に対応するので、上記の結果は光誘起異常ホール効果の起源が光による時間反転対称性と鏡映対称性の破れであることを示唆している。

本研究成果により、励起光による鏡映対称性の破れの物理が開拓された。同様の解析は他の物質の場合にも拡張でき、今後、励起光による鏡映対称性の破れを利用する、新しい光誘起現象や光制御機構の発見につながると期待できる。また、電流生成現象の成果は、今後の光誘起異常ホール効果の最適物質の探索や、時間反転対称性を保ったまま鏡映対称性の破れが起きる現象の観測で役立つであろう。

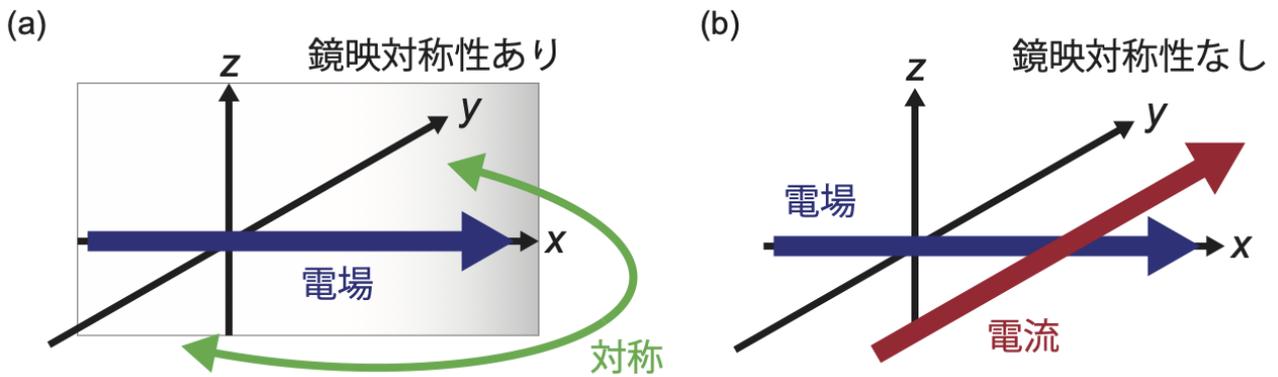


図 1. 電場と垂直な方向の電流と鏡映対称性の関係。左図は鏡映対称性がある場合（xz 面に鏡を置いた時に鏡映対称な場合）、右図は鏡映対称性がない場合。鏡映対称性がない場合のみ電場と垂直な方向に電流が生成できる。

原論文（2024 年 7 月 8 日公開済）

Light-Induced Mirror Symmetry Breaking and Charge Transport

Naoya Arakawa, Kenji Yonemitsu, J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 084701 (2024).

<情報提供：荒川直也（中央大学理工学研究所）
米満賢治（中央大学工学部）>