

巨大な光方向二色性をもつ物質が発見される

通常物質は光の進む向きが反転しても光の吸収の値は全く変化しない。しかし、ある特殊な原子の並び方をもつ結晶がさらに磁石のような性質を併せ持ったときに限って、光の進む向きが反転すると光の吸収量が変化することが予言され、実際にそのような物質も報告されていた。このような現象を光の「方向二色性」と呼ぶ。これまでに報告された「方向二色性」では光の進行方向による吸収の違いが最大でも 0.1 パーセント程度であり、技術応用は不可能であると考えられていた。最近、東北大学多元物質科学研究所の有馬孝尚氏の研究グループは、光が表から裏へ進む場合と裏から表へ進む場合とで光吸収の値が最大で 3 倍も異なる物質を発見した。これは、吸収の違いでいうと 100 パーセント程度となり、これまで知られていた同種の現象と比べると、およそ 3 桁も大きな値である。この研究成果は、日本物理学会発行の英文学術誌 Journal of Physical Society of Japan (JPSJ) の 2008 年 1 月号に掲載される。



図 1 メタホウ酸銅 (CuB_2O_4) の結晶。

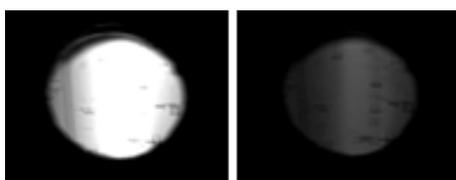


図 2 メタホウ酸銅の薄い結晶 (厚さ 0.1mm) を 15 K に冷やして、向こう側から $0.88\mu\text{m}$ の光を照射したときに透過した光の像。二つの写真では、結晶にかけた 300 ガウスの磁場がそれぞれ図の左および右に向いている。磁場の向きによって、透過する光の量が極端に違うことがわかる。

本研究では、銅とホウ酸の化合物であるメタホウ酸銅(化学組成式 CuB_2O_4)の結晶による光の吸収に注目した。この物質は青い色をした結晶(図 1 参照)で、赤外から赤色、黄色にかけての光を吸収する。この物質は絶対温度 20 K 以下で反強磁性秩序を示し、かつ、反平行に並ぶスピンの傾いているためその方向に弱い強磁性秩序も併せ持つ磁性体(カントした反強磁性体と呼ばれる)になる。このことに着目して、その温度範囲で光透過の実験を行ったところ、巨大な「方向二色性」が発見された。具体的には、この青い結晶の N 極が右側になるように光が進む場合と左側になるように光が進む場合とで光の吸収量が最大 3 倍も異なった。さらに、この物質の磁

化の向きは 300 ガウスの磁場で入れ替わるので、小さな外部磁場によって光吸収の値を制御できることになる。メタホウ酸銅の薄い結晶に左あるいは右向きの磁場(大きさ 300 ガウス)をかけて波長が 0.88 μm の赤外線照射し、透過した光の量の違いを CCD カメラで直接撮影したものが図 2 であり、磁場の向きの違いによって透過光量が極端に違うことがわかる。

結晶構造・磁気構造が空間反転あるいは時間反転(全スピンの反転)に対して対称でない結晶を光が透過する場合、種々の特異な光学的現象が見られる。生体関連物質など鏡映対称性を持たない物質が示す自然旋光性や、磁性半導体などが示す磁気旋光性といった偏光の回転現象は、その典型である。「方向二色性」は、空間反転に対しても時間反転に対しても対称でない結晶を光が透過する際に生じる現象であり、メタホウ酸銅のカントした反強磁性スピン配列はまさにそのような条件を満たしている。さらに、本論文では、メタホウ酸銅がこれまでに観測されたものとは桁違いに巨大な方向二色性を示す起因についても詳しく論じられている。それによると、対称性の破れに加えて、この物質の原子内の 3d 軌道間の励起に電気双極子遷移と磁気双極子遷移の二つの過程が同居し、反強磁性相のスピンの向きに応じてそれらが同位相あるいは逆位相で干渉することで、巨大な方向二色性を生じさせていると考えられる。

以上のように、今回の発見は「方向二色性」が巨大化できることを初めて示したものであり、今後、動作温度を上げることができれば、さまざまな光デバイス、例えば、光スイッチや光アイソレータなどへの応用が開ける。また、本研究の成果は、同類の物質の探索の指針を与えるものとして、今後の発展が大いに期待される。

論文掲載誌: J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) No. 1, p. 013705

電子版: <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/013705>

<情報提供: 有馬孝尚、齋藤充、谷口耕治 (東北大学)>