

X線方向二色性・硬X線領域の電気磁気効果

有馬孝尚（東北大学多元物質科学研究所、ERATO-JST）

概要：

極性強磁性体は一次の電気磁気効果（外部電場による磁化の変化や外部磁場による分極の変化）を示すことから以前から研究されていたが、近年、強相関電子系の立場で「マルチフェロイクス（多重強秩序系）」という「合言葉」とともに、再び研究が盛んになってきた。このような系では、印加する磁場を正弦波としてその周波数を電磁波の領域に拡張することで新しい磁気光学を示すことも予測されていた。その一つに、「方向二色性」がある。すなわち、極性磁性体においては電磁波を入射する向きを反転するだけで吸収係数が変化することが期待される。このX線方向二色性は対称性の見地からは、物質が自発分極と自発磁化を同時に有することで説明される。すなわち、自由エネルギー関数を外部磁場 H と外部電場 E の関数として展開した場合に、時間反転や空間反転の対称要素を持たない系では EH の一次の項がゼロにならずに残ると考える。エネルギーの E に関する微分は分極 P に相当するので外部磁場 H に比例する分極 P が生じることを意味する。電磁波において H は $k \times E$ に比例するから、分極率 P/E が k 依存性を持つという結論が導かれる。

我々のグループは GaFeO_3 という典型的な多重強秩序系について、X線方向二色性を測定することを試みた。この物質は斜方晶で自発分極（ b 軸方向）を持っている。さらに、低温では c 軸方向にフェリ磁性に伴う自発磁化が出現する。この物質に Fe の K 吸収端付近の直線偏光 X 線を入射し、透過 X 線強度の磁場変調を測定することにより、X線方向二色性を観測することに成功した[1]。

測定された X 線方向二色性のスペクトルをミクロスコピックな立場から研究することで、対称性の議論から進んで電子論へと発展させることも重要である。この物質中における鉄イオンは Fe^{3+} ($S=5/2$) であり、6つの酸素に配位された歪んだ八面体サイトにある。反転対称性の破れにより $3d$ 状態の一部が $4p$ 状態と混成し双極子遷移可能となる。この電気双極子遷移は、スピン軌道相互作用を通じて別の $3d$ 状態への電子四重極子遷移と干渉することができる。その結果として振動子強度（X線吸収の強度）の移動が起こると考えることでスペクトル形状を定性的に理解することができた。

以上の考察より明らかとなり、方向二色性は物質全体の磁化ではなく反転対称からずれたサイトの磁気モーメントを検出していることになる。このことから、将来的には磁気的なナノ構造体における界面磁性の検出などへの応用の可能性を秘めているといえる。

なお、講演で述べる研究は、科学技術振興機構「ERATO スピン超構造プロジェクト」におけるものであり、様々な方々との共同研究であることを申し添えておく。また、放射光 X 線吸収分光測定自身は S1 課題「強相関電子系物質の新物質探索と物性発現機構解明のための BL 建設」（2003-S1-001）の一環として BL-1A のビームタイムを用いて行なわれた。

[1] M. Kubota et al., Phys. Rev. Lett. **93**, 137401 (2004).