

# 非共鳴および共鳴 X 線回折を利用した磁気および多極子秩序の観測

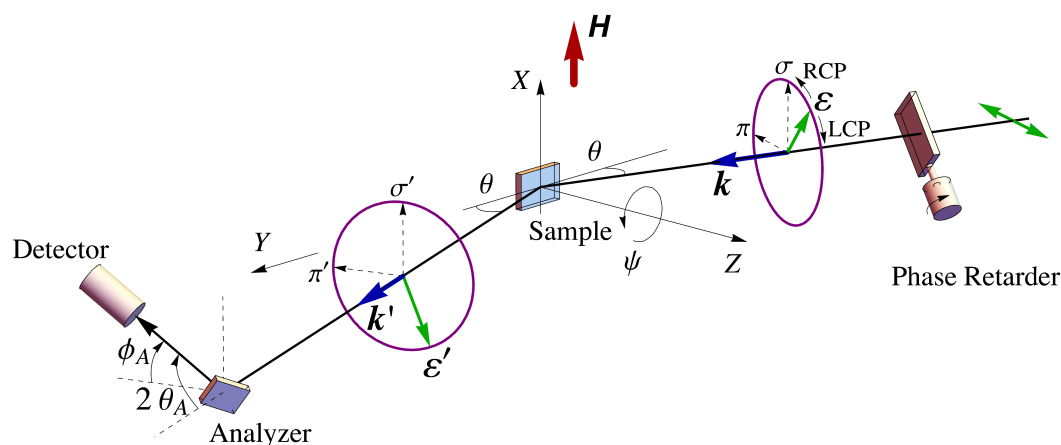
2025 年 11 月 15 日 改

松村 武

## 概要

物質が示す様々な秩序状態の観測において、共鳴 X 線回折が強力な手法として使われるようになって久しい。f 電子系では四極子秩序をはじめとして、磁気八極子秩序などの、高次多極子秩序の観測において威力を発揮している。放射光 X 線の高い空間分解能を利用した高精度の波数測定や、中性子が苦手とする Sm や Gd 化合物での磁気秩序の観測も可能である。最近では、測定内容も高度化している。ほぼ完全に直線偏光した入射ビームを利用した偏光解析も、当初は  $\sigma\sigma'$  と  $\sigma\pi'$  の 2 種類の測定を行うだけだったのが、今日では、移相子を用いて入射 X 線の偏光状態を自在に制御し、結晶アナライザを使って散乱後の偏光状態も決定するという、完全偏光解析の時代に入っている。最低温度 1 K までの極低温と 8 T 超伝導マグネットによる磁場も組み合わせ、物質が低温・磁場中で示す多彩な秩序相の研究も広い温度・磁場領域で可能になった。その結果、磁場反転効果などの新しい測定手法も生まれてきた。らせん磁気秩序におけるヘリシティ（巻き方）の観測も可能である。実験技術情報も蓄積され、実験結果を取り扱う解析方法も進歩してきた。

これら最近の進展も含めて解説を 1 つにまとめるため、これまでの文章を組み直した。第 1 章では、これまでどおり、電子と電磁場との相互作用による X 線散乱の原理から始まって、Thomson 散乱、非共鳴磁気散乱、共鳴散乱項を導出する。第 2 章では、非共鳴磁気散乱について定式化を行い、干渉法など、入射 X 線の偏光状態を制御した様々な実験に対応できるようにする。第 3 章では、共鳴 X 線散乱について、最近の進展も取り入れ、長尾・五十嵐の多極子演算子法による散乱振幅表記をまとめる。また、いくつかの実験例も紹介し、解析の方法を示す。重要な点として、スペクトルの扱い方、複数の散乱が互いに干渉し合う場合の考え方があり、これについて磁場反転効果も含めて記述する。第 4 章では、任意の入射偏光状態に対する散乱強度と散乱後の偏光状態を記述するのに便利な、Stokes パラメータを使った表現方法について説明し、その使用例を紹介する。最後に、第 5 章では、入射 X 線の偏光状態を自在に制御するための透過型 X 線移相子の仕組みについて説明する。実際のビームラインで使われている配置に沿って記述し、実験のシミュレーションとデータ解析にそのまま使えるよう心がけた。



Experimental configuration at BL-3A, Photon Factory, KEK.

\*広島大学大学院先端物質科学研究科, tmatsu@hiroshima-u.ac.jp. 初版 2016.12.12.