放射光で生成されたγ線で見る原子・分子のスローダイナミクス

液晶などのソフトマター中では分子の運動は液体中よりも遅く、特にナノ秒よりも遅い時間スケールでの運動に興味が持たれてきた。また、人体など複雑な組成のソフトマター中では、内部で様々な運動が起きていると考えられ、運動している部位のサイズを特定した状態で観測することができる手法を開発することは、ソフトマターの微視的な基礎理解を飛躍的に向上させることが期待できるため、非常に重要であると考えられる。しかしながら、これまでの手法では、原子・分子のスケール(0.1 ～ 6 nm)の構造が 1 ns から 10 μs の時間スケールで緩和するような場合に、その空間スケールを特定した迅速な緩和ダイナミクスの測定は困難であった。

最近、京都大学原子炉実験所、京都大学理学研究科、高輝度光科学研究センターのメンバーを中心とする研究グループは、大型放射光施設 SPring-8 の核共鳴散乱ビームライン(BL09XU)で利用可能な放射光を用いて単色性の高い高指向性 γ 線を生成し、それをプローブ光として準弾性散乱測定に用いることで、通常の液晶と分子スケールで会合するようにデザインされた両親媒性液晶の系でその運動性が同じ程度であることを見出した。その結果、両親媒性液晶の系では微視的に分子の会合が強く起きていないことが示唆された。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の 2012 年 2 月号に掲載された。

本研究手法では、^{57}Fe 核が第一励起状態から寿命 141 ns で崩壊する際に放出される γ 線を用いるが、その線幅は γ 線のエネルギー(14.4 keV)に対して大変狭い（4.6 neV）ものとなっている。SPring-8 の高輝度放射光を用いることによって、このような単色性に加えて高い指向性と強度の強い γ 線を生成することが可能となる。励起エネルギーである 14.4 keV は波長に換算すると 0.086 nm であるため、原子・分子スケールの構造の測定に適したものとなっている。今回開発した時間領域干渉計は、この γ 線をプローブ光として用いた準弾性散乱を行う装置であり、試料中での原子・分子スケールの 1 ns から 10 μs 程度の拡散の様子を時間領域上で観測することができる。この測定法の概念図を図 1 に示す。

試料はスメクティック相状態にある液晶分子を用いた。この液晶試料からの回折光を調べると、透過光に対する角度 $2\theta_{high}$ と $2\theta_{low}$ にそれぞれ強い回折光が観測され、それらはそれぞれスメクティック層内と層間方向の分子の配置の相関を反映している。まず検出器をそれぞれの角度に配置することで、どのような分子スケールの構造の相関の緩和時間を調べたいかを決めることができる。このとき、得られた時間スペクトル上には（図 1 の核共鳴吸収体（B）からの）準弾性散乱の寄与を受けない γ 線と、（図 1 の核共鳴吸収体（A）からの）準弾性散乱の寄与を受けた γ 線との干渉によるビートが生じる。試料中での拡散が速いほど準弾性散乱の寄与を受けた γ 線の線幅は広がり、干渉ビートの時間的な緩和がおきる。すなわち、このビートの時間緩和は着目している構造の相関がどのような

時間で緩和するのかを表している。実験には、典型的な液晶と、液晶の炭化水素鎖中の水素をフッ素置換することで、炭化水素鎖とフッ素鎖の非相溶性を利用して分子スケールで会合するようにデザインされた両親媒性液晶を用いた。測定の結果、両者の運動性が層内と層間でそれぞれ同程度であることが見出された。両親媒性液晶の系では微視的に分子の会合が強く起きている場合は、層間の分子の運動性が遅くなることが予測されたため、両親媒性液晶の系では微視的に分子の会合が強く起きていないことが示唆された。また、この研究により、実際に本手法がソフトマターに適用可能であることがはじめて実証された。

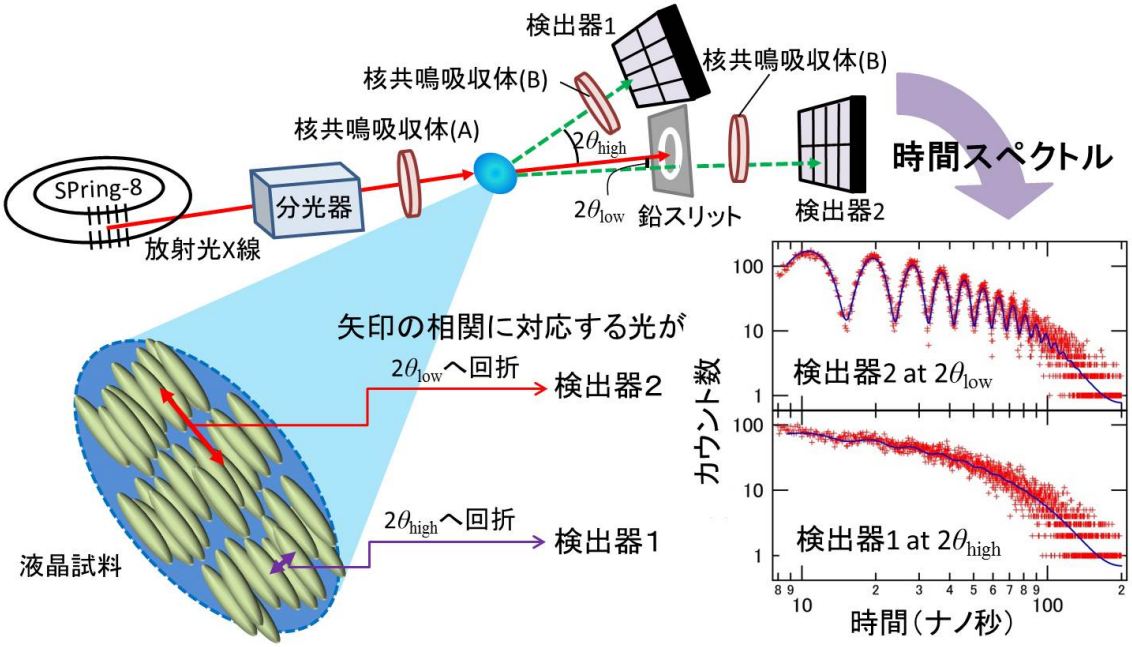

図 1：時間領域干渉計法の装置図と時間スペクトル

本手法は、中性子スピンエコー法と比べて、より小さな相関が遅く緩和する運動が見やすい、異なった散乱角での散乱の同時測定が可能などいくつかの優れた性質を有している。さらに、本方法の発展として、異なるエネルギーのγ線を同時に用いて放射光の高効率利用を行う事で、測定効率の大幅な向上が可能と考えられている。そのため本手法の今後の広範な応用の可能性が期待される。

論文掲載誌 J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) No.2, p. 023001
電子版 http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/81/ 023001 （1 月 11 日公開済）
＜情報提供：瀬戸　誠（京都大学原子炉実験所）＞