

## 反射率法による生体関連物質の界面構造解析

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所・准教授・鳥飼直也

反射率法では、X線や中性子が光学的に平らな物質の界面で反射する性質を利用して、試料表面に微小な角度で入射し、試料中の構造を反映して反射されるX線・中性子を精度良く計測することにより、物質の表面のみならず物質中に深く内在する界面の構造を非破壊かつ深さ方向にサブnmスケールの高い空間分解能で明らかにすることが出来る。中性子に対する元素の散乱能（散乱長  $b$ ）の大きさは、各元素との相互作用によって決まるため、原子番号の順に依存せず、中性子はX線では難しい軽元素や同位体の識別に優れる。特に、水素の同位体である軽水素（H）と重水素（D）の間に中性子に対する大きな散乱能の差があることを利用して、分子内に多数の水素を有する高分子や界面活性剤等のいわゆるソフトマターから生体関連物質に至る分子内の水素の一部あるいは全てを重水素で置換することにより、分子自身が示す物理的な性質を大きく変えずに、分子内に中性子に対するコントラストを付すことができる。（重水素ラベリング法）また、他の測定手法では観測が難しい明確な構造を持たない界面近傍に生じる密度揺らぎの *in-situ* 観測にも力を発揮する。

反射率法を利用した物質界面の研究はこれまでに様々な物質を対象に行われ、実際、脂質やタンパク質等の生体関連物質についても多くの研究が存在する。生体関連物質が関わる重要な界面現象の1つに、生体内における情報伝達が挙げられる。生体内でのシグナルの伝達は、細胞の内外を隔てる生体膜（脂質二分子膜）上での生体分子同士の相互作用の結果として発現すると考えられている。このような生体膜界面における情報伝達機構を明らかにするために、脂質を水面上に展開して得られる単分子膜を生体膜のモデル系とし、表面圧、pH、添加塩等の異なる環境下あるいはタンパク質等の他分子の存在下における水面脂質単分子膜の構造が調べられている。また、固体基板を利用して脂質二分子膜を構築する試みもなされ、物質透過性の高い中性子によりそれら固液界面における界面挙動についても調べられている。

現在、茨城県東海村に大強度陽子加速器計画（J-PARC）が進み、大強度の陽子加速器を利用した世界最大級のパルス中性子源が間もなく実現する。J-PARCでは、これまで高エネルギー加速器研究機構中性子科学研究施設（KENS）で稼働していたパルス中性子源の少なくとも数百倍の入射中性子強度が得られ、分あるいは秒オーダーの時分割での反射率測定によって、時間の経過に伴い構造が変化する分子拡散、相分離・相転移過程、外場応答等の物質界面が関与する特異な非平衡ダイナミクスに関し他では代えられない新たな知見を得ることが期待される。また、本邦で培われてきた世界に誇る中性子制御・計測技術との組み合わせにより、界面近傍の面内方向の構造観察を可能とする斜入射小角散乱（GISAS）法やナノeVスケールの界面ダイナミクスの直接観測が可能な中性子スピンエコー法等の革新的な測定オプションの実現が目指されている。