

荷電膜間に働く電気二重層相互作用の新規作用メカニズム

菱田 真史
筑波大学数理物質系

コロイドやソフトマターが凝集して作る自己組織化構造は nm スケールでさまざまな相互作用がバランスすることで安定化されている。これらの相互作用の原理を理解することは、コロイド科学やソフトマター科学の中心的課題の一つである。いろいろな物質系で共通する相互作用の中でも特に重要なものとして電気二重層相互作用が挙げられる。これは電解質溶液中で電荷をもつコロイドやソフトマターの間に働く電氣的な相互作用であり、これと van der Waals 相互作用の足し合わせで凝集構造の安定性を議論するのがいわゆる DLVO 理論である。これらの相互作用を足し合わせると、引力と斥力のバランスにより、ポテンシャルに極小が現れる。コロイドやソフトマター構造体間の安定な距離はこの極小位置によって決まる。

コロイドやソフトマターは nm スケールに特徴的な大きさを持つため、安定な距離も nm スケールとなる。そのため、X 線小角散乱を用いれば、条件によって変化するポテンシャル極小位置を知ることができ、そこから相互作用の詳細を議論することができる。

我々は、荷電性のリン脂質膜間に働く相互作用を見極めるために、電解質の価数と濃度に対する平衡膜間距離の測定を行った[1]。DLVO 理論では、電解質溶液のイオン強度によってポテンシャル極小位置が決まると言われていたが、実験結果はこの予想に反し、イオンの価数によってイオン強度が同じでもポテンシャル極小位置が異なることが明らかになった。特に、副イオン（膜と同電荷のイオン）の価数が小さいほうが平衡膜間距離は小さいことが分かった。X 線小角散乱による形状因子の解析から、イオン添加で膜の構造はほとんど変化しないことが分かったため、理論と実験結果の不一致は、電気二重層相互作用の理解にあることが分かった。我々は、コロイド凝集系の熱力学であるドナン平衡を鑑みて電気二重層相互作用に関する理論の検証を行った。その結果、これまでには考えられていなかった膜間からの添加イオンの排斥によって上記の副イオン価数依存性が生まれていることが分かり、そのもとで構成した新規理論は実験結果を非常によく再現した。

本研究からわかる通り、X 線小角散乱はコロイドやソフトマター間の相互作用を検証するのに非常にパワフルなツールであるといえる。

- [1] Mafumi Hishida, Yoko Nomura, Ryo Akiyama, Yasuhisa Yamamura, Kazuya Saito,
Electrostatic double-layer interaction between stacked charged bilayers
Phys. Rev. E, **96**, 040601(R) (2017).