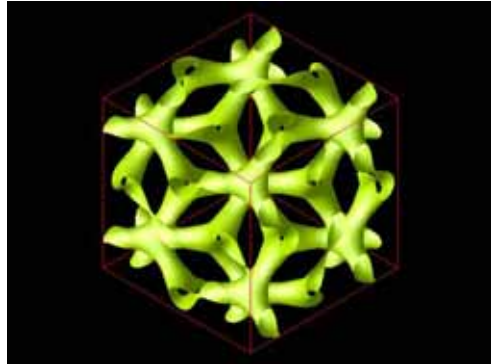


ソフトマター共連結構造の粘弾性理論の定式化

ソフトマターとは高分子、液晶、両親媒性分子、コロイド、生体物質などの物質群に対する総称である。これらに共通の性質は分子の自己集合によって 10-100 ナノメートルの内部構造が発現することである。原子や低分子の結晶では、それらがある対称性をもった格子点に配置した周期構造を形成する。このことと対比して、ソフトマターでの秩序構造の著しい特徴は、ある条件のもとでは、流動性をもった分子集団が



自発的に膜やドメインを形成し、しかも、その（1枚、あるいは、2，3枚の）膜が周期的に空間を埋め尽くすことである。その例を図に示している。円筒形の膜がある一定の長さで2つに分裂し、周期的ネットワークを形成している。しかも、互いに同等ではあるが、接触しない二つのドメインが整然と配置している。この構造は（ダブル）ジャイロイド構造とよばれている。膜によって分けられる二つの空間がそれぞれ無限に連結した領域を形成するときそれを共連結構造という。従来の低分子固体ではみられないこのような周期構造は、ソフトマターでは、水・界面活性剤系、水・油・両親媒性分子系、高分子共重合体、液晶などで普遍的に現れ、その出現機構と構造の諸性質を解明することは基礎科学として重要な研究課題である。

メゾ構造の電場、流動、応力、光などの外場に対する応答を明らかにするのも、構造制御と関連した基礎的重要性がある。最近、玉手亮多（京大）、山田耕太郎（首都大学東京）、J. Vinals（カナダ McGill 大学）、太田隆夫（京大）の4氏は、メゾ構造形成の自由エネルギーと局所濃度の発展方程式に基づき、共連結構造の非線形粘弾性理論を定式化した。この研究は日本物理学会発行の英文学術誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の2008年3月号に掲載される。

物質に力を加えると、液体の場合は粘性（運動による変形に対する抵抗）が、固体の場合は弾性（変形を戻そうとする力）が生じるのが通常である。ところが、共連結構造などのソフトマターは、粘性と弾性が共存していることによって生じる特異な力学的性質をもつ。これが粘弾性である。本研究では、共連結構造を構成している個々の高分子鎖から生じる粘弾性には目をつむり、ドメインネットワーク構造に起因する粘弾性に着目する理論を構築した。具体的には時間振動する歪みに対する応力の応答を計算した。自然長にあるバネを引っ張ると弾性エネルギーが増加することからわかるように、歪みによる自由エネルギーの増分から弾性的性質を調べることができる。一方、構造の変化に伴ってドメインを構成している分子の濃度分布も変化しようとするため粘性的応答

が生じる。これら粘弾性応答に対する表式を導出し、数値計算で応力・歪み関係を明らかにした。

構成する（巨大）分子の複雑さ、形成される共連結構造の複雑さなどのため、これまでの共連結構造に関する研究のほとんどが、計算機シミュレーションや数値計算に全面的に依存するものであった。本研究で定式化された粘弾性理論は、共連結構造のダイナミクスの本質を捉えることに成功したものであるとして多くの研究者から注目を集めている。今後、流体力学効果まで含めた、さらなる発展が期待される。

論文掲載誌： J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008), No. 3, p. 034802

電子版： <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/034802> （3月10日公開）

<情報提供： 山田耕太郎（首都大学東京）、太田隆夫（京都大学）>