

自己組織化マテリアルとバイオミネラリゼーション

東京大学大学院工学系研究科 加藤隆史

生物が鉱物を作る作用をバイオミネラリゼーションという。炭酸カルシウムを主成分とする貝殻や真珠、ヒドロキシアパタイトを主成分とする骨や歯は、その代表的なものである。このようなバイオミネラルの特徴は、ミネラル（無機成分）が生体高分子（タンパク質や多糖などの有機成分）と複合化して、精緻な秩序構造を作り上げている点にある。たとえば、貝殻は1マイクロメートル以下程度の炭酸カルシウム単結晶と、数十ナノメートル程度の有機層の積層複合構造からなっている。これは、レンガとセメントの関係に似ている。これにより、無機成分のみの場合の脆さがなくなり、単独の場合の千倍以上の強度を発揮する。貝は、このような強度に優れる無機/有機複合構造をつくりだすことにより、カニなどの攻撃から身を守ることに成功している。この複合構造は、光の波長程度の繰り返し周期をしているため、ムール貝やあこや貝の殻の内側は反射する光の干渉により美しく輝く。このような構造が不純物の存在により貝殻の内部で球状に形成したものが真珠である。

真珠の精緻な秩序構造に興味を持ったのは、8年近く前に、鳥羽の真珠博物館に行く機会を持ったときである。自然界が創り出す精緻な有機無機複合構造を、その形成プロセスに倣い常温でしかも自己組織的に作ることが出来れば、新しい環境低負荷性を有する機能材料となるはずであると考えた。調べていくと、タンパク質などの有機物がテンプレートとして働き無機結晶成長を制御していることがわかった。試行錯誤の後、キチンを基板に塗布して、それを炭酸カルシウム過飽和水溶液に浸して結晶成長のマトリクスとし、さらに、タンパク質のかわりにポリアミノ酸やポリアクリル酸を少量添加して結晶成長を行うと、厚さ約1マイクロメートルの炭酸カルシウム結晶薄膜が形成することを見出した。この手法を用いると、生体とは作り方が異なるが、キチンと炭酸カルシウム薄膜を交互に積み重ねていけば真珠類似構造が作製可能である。さらに最近、多糖の一種であるプルランの誘導体をマトリクスにすると、光の波長の程度の規則的な凹凸を持ち干渉色を示す炭酸カルシウムのパターン結晶を自己組織化に創り出すことに成功した。これは、自然界では存在しない炭酸カルシウムの秩序構造である。この結果は、自然界に倣い、さらに生体が使わない分子を用いることにより、ある意味で生体を超越することのできる可能性を示している。