

コロイド粒子の自己集合と宇宙実験

三木 裕之 〈名古屋市立大学大学院薬学研究科 aptocyclus@gmail.com〉

山中 淳平 〈名古屋市立大学大学院薬学研究科 yamanaka@phar.nagoya-cu.ac.jp〉

奥 蘭 透 〈名古屋市立大学大学院薬学研究科 okuzono@phar.nagoya-cu.ac.jp〉

豊 玉 彰子 〈名古屋市立大学大学院薬学研究科 toyotama@phar.nagoya-cu.ac.jp〉

コロイドは、(1) ある物質 (分散相) が媒体中に分散しており、かつ (2) 分散相の大きさが、少なくとも一つの次元について、ナノメートルからマイクロメートルの間にある系全体を指す。すなわち、コロイドはコロイド分散系と同義である。

サイズが揃った球状のコロイド粒子は、適切な条件下で規則配列して「コロイド結晶」を形成する。コロイド粒子が一種類で、粒子間の相互作用が等方的であるとき、自発生する結晶構造は、体心立方 (BCC)、面心立方 (FCC)、または六方最密充填 (HCP) 格子のいずれかであることが知られている。

コロイド分散相の大きさの範囲は、紫外・可視・近赤外光の波長を含む。物体はその大きさと同程度の波長の電磁波を散乱するため、コロイド系と光とは元来関係が深い。宝石のオパールは数百 nm サイズの岩石の球状微粒子が、FCC および HCP 結晶を形成したコロイド結晶で、可視光線のブラッグ回折により構造色を示す。

オパールのように、屈折率 (誘電率) が光の波長の周期を持つ構造は「**フォトニック結晶**」と呼ばれる。特に、コロイド粒子がダイヤモンド格子状に配列した構造は、あらゆる方向からの入射光に対してフォトニックバンドギャップを持つ、「完全フォトニック結晶」であることが知られており、近年活発に研究されている。ダイヤモンド結晶は一成分系では自発生しないため、多成分系や、異方的な粒子間相互作用を用いた研究が行われている。

ただし、完全フォトニックバンドギャップが形成されるには、粒子と媒体の屈折率 n_r の比が、約 2 以上であることが必要とされる。例えばチタニア (二酸化チタン) は

$n_r \sim 3$ を持ち、サイズの揃った球状微粒子も合成できる。しかし、高屈折率の物質はしばしば高い比重 ρ を持ち (チタニア粒子の ρ は約 3 である)、微粒子化したとき媒体中での沈降が無視できない。

高比重粒子について、沈降の影響を排除した実験を地上で行うことは容易ではないが、微小重力条件を利用できれば、実験が可能である。実験機会に制限はあるものの、これまでに、米国のスペースシャトルを用いた微小重力実験で、コロイド結晶の核生成や成長過程への粒子の沈降の影響が調べられ、地上では見られなかった樹枝状の結晶成長が観察されている。また、飛行機を用いた微小重力実験でも、核生成速度の低下が報告されている。

国際宇宙ステーション (ISS) の微小重力を利用した実験が数多く行われている。地上から約 400 km 上空を飛行する ISS は微小重力、宇宙放射線、高真空、豊富な太陽エネルギーなど、地上とは全く異なる特殊な環境を提供している。日本の実験棟である「きぼう」は 2008 年 8 月に ISS に取り付けられて、利用が開始された。これまでに、流体、燃焼に関する基礎的研究や、半導体材料の大型単結晶の作製など、材料分野での実験も行われている。また、タンパク質やコロイドなどの、**ソフトマターの宇宙実験**も近年報告されている。

我々は最近、ダイヤモンド格子の基本単位である四面体型のコロイド会合体の生成実験を ISS の微小重力環境で行い、微小重力環境では、平均会合数や会合体の秩序度が向上することを観察したほか、凝集構造に関する沈降の影響を定量化した。今後も、ソフトマター分野における様々な宇宙実験が期待される。

用語解説

コロイド分散相：

球状のコロイド微粒子 (3 次元的にコロイドサイズ) でなくとも、分散相が薄膜やロッド状で、それらの厚さや断面の径がコロイドサイズであれば、コロイド系と呼ぶ。また、分散相が気体、液体、固体のいずれのコロイドもあり得る。

フォトニック結晶：

屈折率 (誘電率) が周期的に変化する構造体はフォトニック結晶と総称される。フォトニック結晶中の光の伝播は、半導体中の電子の伝導と類似しており、光の伝播が許される波長帯域と禁制帯域がある。1987 年にエリー・ヤブロンビッチ (Eli Yablonovitch) により、3 次元フォトニック結晶の完全バンドギャップの概念が提唱された。

ソフトマターの宇宙実験：

国際宇宙ステーションの実験棟を利用すると、マイクロ G 程度の微小重力が長期間得られる。微小重力では沈降や対流が無視できるため、コロイドに限らず、様々なソフトマターの自己組織化の研究に有用である。規則性の高い結晶や、比重の異なる 2 液の混合構造など、地上では実現できない構造も得られる。