

## 沈降粒子

沈降粒子は海洋や湖沼の水中を沈降する粒子の総称で、プランクトンをはじめとする生物の死骸・排泄物および陸起源鉱物粒子が凝集したものである。光合成により海洋表層で植物プランクトンが固定した二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）は、直接もしくは食物連鎖を介して沈降粒子になり海洋内部に運ばれ大気から隔離されるため、炭素循環に重要な役割を果たしている。

◆**マリンスノー** 水圏における主な一次生産者は、珪藻・円石藻・シアノバクテリア（藍藻）といったμmサイズの微小な植物プランクトンである。理論上、個々のプランクトン粒子は沈降しないか、沈降しても深海に到達するまでに何年も掛かる計算になる。しかし、さまざまな観測結果から、平均すると1日あたり数十～数百mの速さで沈降していることがわかっている。この理論と観測の違いは、沈降粒子が単独で沈むのではなく粒子が集まった凝集体となって沈むことで説明される。陸水や海水中の有機炭素は、存在状態により粒子態と溶存態に区別される。一般には、孔径0.45μmのフィルターに捕集される物質を粒子態（懸濁態）、通過する物質を溶存態と定義している。肉眼で見えるmm～cmサイズの懸濁物質（水中を浮遊する粒子）をマリンスノーと呼ぶ。マリンスノーは、植物プランクトンの死骸に加え、動物プランクトンの死骸・排泄物・バクテリア・粘土鉱物などが凝集したものである。構成成分は、生物由来の有機物・珪藻などがつくる生物源オパール・円石藻や有孔虫などがつくる炭酸カルシウム・陸起源の粘土鉱物の4成分に分けられる。珪藻やバクテリアが分泌する粘液がさまざまな粒子を凝集させる接着剤の役割を果たしており、中でも透明細胞外高分子粒子（TEP）と呼ばれる透明の多糖類は、海洋表層に豊富に存在し粒子の凝集を促進する。ただしTEPや生物由来の有機物の密度はおおむね海水より小さく、マリンスノーの沈降には生物源オパール・炭酸カルシウム・粘土鉱物といった高密度のバラスト（おもり）となる粒子が欠かせない。またマリンスノーの一部である動物プランクトンの糞粒に含まれる有機物は沈降しやすく分解しにくい。

◆**生物ポンプ** 海洋が大気中CO<sub>2</sub>を吸収するメカニズムの一つである生物ポンプは、海洋表層において光合成によって生成された有機物が、沈降粒子の重力沈降・溶存有機物の移流・鉛直混合・および動物プランクトンの移動によって、表層から海洋内部（中層・深層）に鉛直輸送される働きを指す。海洋内部に運ばれた粒子態有機物のほとんどは海底に到達する前に分解され、海中で溶存無機炭素となる。海洋生態学では海洋は大まかに表層（0～200m）・中深層（200～1000m）・漸深層（1000～4000m）・深海層（4000～6000m）に分けられる（図「海洋

の区分」）。表層では植物プランクトンが光合成によりCO<sub>2</sub>を有機物として固定する（純一次生産）。海洋における純一次生産は概算で年間約500億t（炭素量換算）である。その約8割は表層で動物プランクトンに捕食されるかウイルスや微生物により分解されるので、残りの年間約100億tの炭素のみが沈降粒子として海洋内部へ輸送される。中深層においても同様に捕食・分解を受け、中深層の下限である水深1000mに到達する炭素は年間約10億tにすぎない。このように純一次生産のわずか約2%が漸深層以深に運ばれ、100年から1000年単位で大気から隔離されることになる。

◆**沈降粒子の観測** 沈降粒子の観測ではセジメントトラップと呼ばれる装置を用いる。筒状もしくは円錐状の容器を海中に設置し、沈降粒子を容器下の防腐剤入りの試料瓶に捕集する。複数の試料瓶をあらかじめ設定した日時に自動的に交換できる時系列式セジメントトラップが1980年代に開発され、マリンスノーの季節・経年変動の観測が可能となった。また時系列式セジメントトラップを複数の水深に設置し、マリンスノーの質・量の鉛直変化、沈降速度が明らかにされてきた。セジメントトラップを海中に固定設置すると、装置の周囲に渦が発生したり装置が傾いたりして沈降粒子の捕集効率に変化する場合がある。そのため浮力を自己調整することで任意の水深に沈み、流れに逆らわずに漂流しながら数日間沈降粒子を捕集し、その後自己浮上する中性浮力型セジメントトラップが開発・運用され始めた。また、海中粒子を光学的に観測するため、後方散乱計・濁度計・カメラを搭載した漂流ブイを数多く放流する手法も盛んになっている。

◆**生物ポンプの過去と未来** 地球史における生物ポンプの強度・効率は、生物の進化・絶滅とともに変化してきた。例えば、中生代における主要な一次生産者はシアノバクテリアと炭酸カルシウムの鱗片をつくる円石藻であった。新生代に入ると生物源オパールの被殻をつくる珪藻が勢力を拡大した。一次生産者の交代は沈降粒子の質・量を変化させ、生物ポンプに大きな影響を与えたことだろう。近未来の生物ポンプの予測は困難である。現在、地球温暖化により海洋では水温上昇・酸性化・貧酸素化が進行している。これらは生物ポンプにとってプラスとマイナスの面をもつ。水温の上昇は海洋成層化を促進する。植物プランクトンによる一次生産にとって、栄養塩が豊富な中層水の湧昇や鉛直混合の抑制がマイナスである一方、水塊が安定し光環境が向上する点はプラスである。海洋酸性化は円石藻や有孔虫の石灰化を妨げバラスト効果を低下させる反面、炭酸カルシウムが溶けると海水がアルカリ性に傾き、大気中のCO<sub>2</sub>が海洋に溶解しやすくなる。水温上昇・成層化が招く海洋貧酸素化は生物にとって致命的である一方で、有機物が分解されにくくなりマリンスノーが深海に運ぶ炭素量が増えるかもしれない。このように地球温暖化がもたらす海洋変化には表と裏の面があり、多角的な視点で未来を予測する必要がある。 [岡崎裕典・本多牧生]