

プランクトン由来有機物粒子の乱流による断片化

林 靖人 (筑波大学 生物学類) 指導教員: 大森 裕子 (筑波大学 生命環境系)

【背景と目的】

海洋表層で植物プランクトンによって生産された有機物の10%程度は、有機物沈降粒子として中深層へと輸送される。この表層から中深層への鉛直輸送は生物ポンプと呼ばれ、海洋及び大気中の二酸化炭素濃度の制御に寄与している。沈降粒子の構成要素には、植物プランクトン細胞や動物プランクトンの糞粒など形状が明確なものだけでなく、小型粒子が集まって生じる不定形の凝集体などが含まれる。凝集体は海洋表層の乱流に伴い、小型粒子が衝突・接着して大型化することが広く知られている。ストークスの法則に示されるように、粒子の沈降速度は粒子径の2乗に比例するため、凝集による粒子径の大型化については数多くの研究がなされている。その一方で凝集体は沈降の過程で徐々に断片化・無機化し、粒子の量および粒子径が減少する。この要因として動物プランクトンやバクテリアによる摂餌・分解、非生物由来の乱流による断片化が挙げられる(Karl et al., 1988)。

凝集体の断片化の検証はAllredge et al. (1990)に唯一報告されているのみであり、彼らは海洋表層の乱流レベルでは断片化が生じないことを示している。このため現段階で有機物沈降粒子の消失過程について乱流による断片化はほとんど考慮されていない。しかし、彼らが断片化実験に用いた粒子は、表層で偶発的に浮遊していた凝集体であり、その起源および変性の度合いに関する情報は得られていない。さらに、乱流を再現する実験装置も安定した流れ場を再現できないものを用いており、乱流による断片化は完全に否定されているものではない。また、近年の観測データは沈降粒子の減少を生物学的要因だけでは説明できないことを示しており、物理的な乱流の影響は十分に考えられる。

本研究は大容量タンクで培養した植物プランクトン由来有機物粒子と、正確に流れ場を表すことができる回転重円筒を用いることで、層流せん断流れ場で形成された凝集体の断片化を確認し、見落とされている沈降粒子消失過程を明らかにすることを目的とする。

【手法】

1. 試料

透明アクリル製円柱型タンクに海水500Lを導入し、栄養塩を添加し自然光下で静置した。植物プランクトンバイオマスの指標であるクロロフィルa濃度が、0日目の0.19 µg/Lから8日目には4.2 µg/Lまで増加したことから、8日目には高濃度の植物プランクトン由来有機物が蓄積したと考えられる。この時、乱流が最小限になるようタンク上部から海水を静かに抜き、底部にたまった植物プランクトン起源粒子を多く含んだ海水5Lを回収した。

2. 凝集体の断片化実験

実験はアクリル製回転重円筒の内部を流動する海水中の粒子を可視化して行った(図1)。本回転重円筒は内側のシリンダーが固定されており、外側のシリンダーのみを回転させることで間に安定した層流が生じる。タンクから得られた粒子を含む海水を5つに分け、それぞれ回転重円筒の間に導入し、うち4回につい

て低い回転速度(1.3 r/min)、高い回転速度(24.6 r/min)の順に一定時間回転させた。回転重円筒内に生じる層流の速度勾配は乱流強度の指標となる。各回転速度によって回転重円筒内に生じる層流の速度勾配は、前者を風がない時の表層(10⁶⁶ m² s⁻³)、後者は風が吹いている時の表層(10⁴ m² s⁻³)のエネルギー散逸率に相当するものとした。回転により形成された凝集体は、回転を止めると重力に従い回転重円筒下部に沈降する。沈殿した粒子を、デバイスを反転させることでデバイス上部に移動し、そこから沈降する過程を回転重円筒の側面からカメラで撮影することで粒子画像を取得した。画像はImageJを用いて二値化した。0.51 mm²を閾値とし、各粒子について投影面積から円相当径を算出した。円相当径は、同様の投影面積の円を仮想的に求めたその直径のことを言う。

【結果】

投影面積から算出した相当径変化を表1に示した。また、実験時の粒子の様子を図2に示した。4度行った実験それぞれについて、低い回転速度によって形成された凝集体の相当径が、高い回転速度において減少した。

【考察】

低い回転速度(風が吹いていないときの混合層での乱流に相当)で形成された凝集体粒子を高い回転速度(風が吹いているときの混合層での乱流に相当)にさらしたところ、相当径の減少が確認できた。これは、海洋表層が穏やかな条件下で形成された粒子が荒天時に断片化することを示している。弱い乱流は凝集体形成に強く関与していることが示されているが、強い乱流による断片化は凝集体の沈降速度を遅くするため混合層下への輸出量を制限する大きな要素たりうる。この結果は、生物因子以外の沈降粒子の減少要因として、物理的な要因が寄与していることを意味しており、沈降粒子の減少をモデル化する際に乱流による断片化を考慮する必要性を示唆するものである。

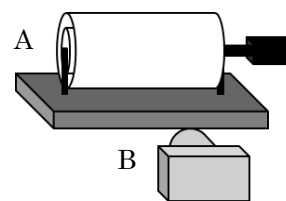


図1. 回転重円筒可視化系。A. 回転重円筒 B. カメラ



図2. 実験の様子。上から、導入時、1.3 r/min、24.6 r/min。

表1. 粒子の相当径変化。NDは閾値(0.51 mm²)以上の円相当径の粒子が検出されなかったことを示す。

	導入直後(µm)	回転速度低(µm)	回転速度高(µm)
実験1	ND	1607.545	1292.741
実験2	ND	1489.935	1064.114
実験3	ND	1558.18	1148.732
実験4	ND	1408.861	1024.236