

論文の内容の要旨

水圏生物学専攻

平成 10 年度博士課程入学

ニーラム ラマイア

氏名 Neelam Ramaiah

指導教官 古谷 研

論文題目

Spatio-temporal variations in transparent exopolymer particles in association with phytoplankton dynamics in the Pacific and adjacent waters

(太平洋およびその隣接海域における光透過性細胞外ポリマー粒子の時空間変動と植物プランクトン動態との関係)

植物プランクトンは、海洋生態系における主要な一次生産者としてエネルギーおよび有機物の供給源となっている。近年、細胞外に滲出した光合成産物の一部が凝集作用による集塊生成をもたらすことが明らかになってきた。光透過性細胞外ポリマー粒子 (transparent exopolymer particles、以下 TEP) は、植物プランクトン由来の酸性多糖類から非生物的に生成される透明な粒子であり、アルシアンブルーで染色される粒子として定義される。TEP は凝集により生成する集塊の基質となる。集塊は、マリンスノーとして沈降するなど有光層から深層への有機物輸送の主要な経路であるため、TEP は有機物の輸送および変質において重要な役割を果たしている。また、TEP はバクテリアなどの微小な従属栄養者や粘液食者の栄養となっており、特に深層で重要と考えられている。

このような TEP の生態学的な重要性は 1990 年代半ばに明らかになり、その後、空間分布や集塊形成に果たす役割について急速に研究が進められてきた。しかしこれまでの知見は沿岸海域に限られ、鉛直的にも有光層に集中している。有光層以深における TEP の分布はアラビア海での 1000m までの知見に留まっている。本研究は、西部太平洋及びその隣接海域における TEP

の時空間変動と植物プランクトン動態との関係を明らかにすることを目的とした。研究対象は、内湾域として大槌湾および東京湾を取り上げ、その季節変動に注目した。また、外洋域として西部太平洋熱帯・亜熱帯海域およびその縁辺海である日本海・セベレス海・スール海を取り上げ、その水平分布および海底付近までの鉛直分布を明らかにした。

1. TEP の空間分布

TEP は、直接測定法がないため、本研究ではアルシアンブルー染色法を用いてキサントガム当量 (XG) として定量した。調査海域全体として見ると TEP は沿岸域で高く外洋域や縁辺海では低い傾向が認められた。大槌湾では平均 (標準偏差) $1344 (534) \mu\text{g XG L}^{-1}$ と高濃度で存在し、次いで東京湾が $150 (156) \mu\text{g XG L}^{-1}$ であった。大槌湾を除くと、TEP とクロロフィル a 濃度とは明瞭な正の相関が認められ、TEP の地理的な変動は植物プランクトン現存量の違いを反映したものと言える。しかしながら、大槌湾では他海域に比べて TEP : クロロフィル a 比が有意に高かった。大槌湾での TEP は、これまで報告された最高値である南極海の *Phaeocystis* ブルーム時に匹敵し、平均濃度としては最も高い。

TEP の有光層内の鉛直分布を見ると、亜表層クロロフィル極大以浅で高い傾向が海域によらず共通して認められたが、赤道域及び日本海では有光層内の濃度変化が小さいのに対し、スール海、セベレス海及び西部北太平洋では濃度変化がより大きく変化した。有光層底部から深層 (5000 m) までは、外洋域および縁辺海とも TEP はほとんど変化せず一様に分布した。深層までの鉛直分布型は本研究で初めて明らかになったが、その分布の形成・維持についての適当な説明は得られなかった。

2. TEP の季節変動

大槌湾および東京湾では TEP は植物プランクトンブルームの消長に伴い変動した。大槌湾では春季 (1998 年 1~4 月) に珪藻を主体とする植物プランクトンブルームが 2 度形成された。週 2 回の経時観測の結果、TEP は最初のブルームの末期から急激に増加し、ブルーム前の平均値 $901 \mu\text{g XG L}^{-1}$ から $1442 \mu\text{g XG L}^{-1}$ に増加した。2 回目のブルーム時に本研究における最高濃度 $2321 \mu\text{g XG L}^{-1}$ が表層で記録され、ブルーム後も高濃度で存在した。1 回目のブルーム前の平均濃度はロス海・カリフォルニア沿岸・ノルウエーのフィヨルドからの報告値である $150\sim 300 \mu\text{g XG L}^{-1}$ に比べて非常に高かった。この時期クロロフィル a 濃度は $1 \mu\text{g L}^{-1}$ 以下と低く植物プランクトン由来以外の TEP 供給源が示唆された。

富栄養化した東京湾では、周年にわたり珪藻類あるいはラフィド藻類によるブルームが形成される。TEP 濃度の変動とブルーム形成種との関係を明らかにするために周年観測を行った。

月 1 回東京湾内 4 測点、湾口部 2 測点で表層 0~10mの採水試料を得た。植物プランクトンの群集組成は網レベルでの各分類群のクロロフィル a 量として求めた。すなわち、各分類群は固有の植物色素組成を持つことから、色素を HPLC により定量し因子分析を用いてクロロフィル a 量を見積もった。また、種組成を顕鏡により確認した。湾内では 43 - 1774 (平均 169 ± 182) $\mu\text{g XG L}^{-1}$ 、湾口部では 4 - 356 (平均 112 ± 70) $\mu\text{g XG L}^{-1}$ で変動し、クロロフィル a の変動に伴い明瞭な季節変化を示した。植物プランクトン群集は、湾内、湾口部ともに *Skeletonema costatum* を主体とする珪藻類が卓越した。初夏の湾内では珪藻類に加えてラフィド藻 *Heterosigma akashiwo* によるブルームが形成され、全クロロフィル a の最大 50% を占めた。*H. akashiwo* のブルーム時には全クロロフィル a 濃度が高く、高い TEP 濃度が観測された。

TEP の生成に対する植物プランクトン各分類群の寄与を見積もるために、網レベルの分類群のクロロフィル a 量を独立変数として重回帰分析を行った。湾内ではラフィド藻類、珪藻類、クリプト藻類、緑藻類、その他の藻類、湾口ではプラシノ藻類、ラフィド藻類、珪藻類、その他の藻類の順に TEP に有意に寄与していた。特に湾内では周年卓越しているラフィド藻類と珪藻類の寄与が大きく、TEP の変動の大部分はこの 2 つの分類群の現存量で説明された。

3. TEP の生物学的変動要因

3-1. 大型藻類

大槌湾では例外的に高い TEP が観察され、植物プランクトン以外の供給源が示唆された。同湾では、冬季から春季にかけてワカメ (*Undaria pinnatifida* f. *distans*) の大規模な養殖が行われ毎年約千トンが水揚げされる。これは天然の海藻群集の生物量に匹敵する。ワカメなどコンブ科の褐藻類は大量の溶存有機物を放出することから、TEP の供給源である可能性を検討した。ワカメの室内培養実験の結果、活発な TEP の生成が認められた。これまで TEP は植物プランクトンに由来すると考えられていたが、大型藻類の寄与が明らかとなった。同湾では冬季から春季にかけて季節風により駆動される湾内外水の交換が活発に起こる。1 回目のブルームはこの交換により消滅し、湾外の沿岸水が流入してクロロフィル a は減少したが TEP は高い濃度を維持した。このことは三陸沿岸水が高い TEP 濃度を持つことを示している。我が国では東北・北海道を中心に大型藻類の養殖が行われており、それに起因して養殖域付近では TEP 濃度が高い可能性が示唆された。

3-2. 赤潮形成種

東京湾における周年観測から TEP の変動に対して *S. costatum* および *H. akashiwo* の関与が示唆された。両優占種の寄与をバッチ培養実験から解析した。クロロフィル a ベースでの日間 TEP

生産速度は、*H. akashiwo* が約 2 倍高かった。¹⁴C-重炭酸塩の取り込みによる光合成速度は *S. costatum* の方が高かった。しかし、*H. akashiwo* は全取り込みの 59~92%と、より高い割合で光合成産物を溶存態として細胞外に滲出した。これらの結果は *H. akashiwo* のブルーム形成時に高い TEP が観察されたことを説明している。また TEP 生産速度は対数増殖期初期で最も高く、増殖とともに減少する傾向が両種に共通した。さらに *H. akashiwo* では対数増殖期初期に最も高い光合成産物の滲出が認められ、ブルーム形成段階に応じて TEP 生成速度が変化し、初期に最も活発であることが明らかになった。

4. バクテリアによる TEP の利用

バクテリアは TEP を分解するとされていることから、東京湾と大槌湾において両者の関係を調べた。両海域とも TEP の極大に引き続き海水中の全菌数の極大が観察された。大槌湾では両極大の間隔は約 10 日であった。*S. costatum* を用いたバッチ培養実験では、*S. costatum* の増殖とともに TEP 濃度が増し、全菌数の増加がこれに続いた。また、東京湾から得た TEP の粒径と付着バクテリア細胞数間には有意な正の相関が認められた。これらの結果から TEP がバクテリアの生息場あるいは基質となっていることが示唆された。

以上、本研究からこれまで全く不明であった西部太平洋及びその隣接海域における TEP の時空間分布に関する基礎的知見が得られた。また、内湾域では TEP の生成に海藻養殖が寄与していることや富栄養化にともなう植物プランクトン群集構造の変化が TEP の変動を支配していることから、人間活動の影響が TEP の時空間変動に顕れていることが明らかになった。本研究は、これまで知られている人為的な海洋生態系変化に加えて、TEP の動態を介したプランクトン生態系への影響の可能性を示唆している。