別紙４

報告番号	※　　第

主　論　文　の　要　旨

論文題目：Remote Estimation of Phytoplankton Size Structure Using Light Absorption Spectra (光吸収スペクトルを利用した植物プランクトンサイズ構造の遠隔推定)

氏　　名：　WANG Shengqiang　(王　勝強)

論　文　内　容　の　要　旨

植物プランクトンのサイズ構造は、海洋生態系、様々な生物地球化学的プロセスにおいて重要な役割を果たしている。植物プランクトンサイズ構造の時間的・空間的な変動・変化を解析するために、人工衛星を利用したアルゴリズムが開発されている。しかし、そのアルゴリズムのほとんどは、外洋の植物プランクトンに対して開発されてきた。またその多くが、大きい植物プランクトンがクロロフィル a（Chl a）濃度の高い海域で優占し、小さい植物プランクトンが Chl a 濃度の低い海域で優占するという仮定を前提としている。しかし、この仮定は局所的な海域や、将来の環境変化の状況下では必ずしも有効でない可能性がある。また、植物プランクトンの光吸収スペクトルからそのサイズ構造を推定できる可能性を示す。本研究では、初めに河川の影響を強く受けた海域である東シナ海に関して、サイズ構造と Chl a の関係について仮定の有効性と、光吸収特性との関係について調べた。そしてその結果を受けて、沿岸域でもグローバル海洋でも適用できる、植物プランクトンの光吸収スペクトルを利用した新しい植物プランクトンのサイズ分画推定手法を開発した。

第 2 章では、東シナ海で、植物プランクトンのサイズ構造および光吸収特性を調べ、長江の影響が少ない対馬海峡と比べた。東シナ海と対馬海峡では、植物プランクトンのサイズ構造と光吸収特性が大きく異なり、植物プランクトンのサイズ構造が光吸収特性の違いの主な要因であることが明らかとなった。海表面では、対馬海峡で小型のピコ植物プランクトンが優占していたのに対して、東シナ海では大型（マイクロ）、中型（ナノ）、小型（ピコ）植物プランクトンが混在した。その結果、東シナ海の Chl a 量あたりの比吸収係数 ($a_{ph}^*(\lambda)$)の平均は、東シナ海では対馬海峡より低かった。亜表層 Chl a 極大 (SCM) 層では、中型と大型植物プランクトンが東シナ海と対馬海峡でそれぞれ優占していたために、東シナ海での平均 $a_{ph}^*(\lambda)$ は対馬海峡よりも高かった。表面と SCM のサンプルを合わせると、対馬海峡では Chl a と植物プラン

クトンのサイズ分画の一般的な傾向がみられ、これまでグローバルな海洋で見られた $a_{ph}^*(\lambda)$ と Chl a の関係と同じ関係が見られた。しかし、東シナ海では、植物プランクトンのサイズ分画は Chl a と独立しており、それによって $a_{ph}^*(\lambda)$ と Chl a の関係は弱くなっていた。この弱い関係は、主に表面の低塩分水とその海域の SCM で観測された。つまり、東シナ海の植物プランクトンの特有の光吸収特性は、おそらく長江から淡水の影響を受けた植物プランクトンのサイズ構造を反映する。$a_{ph}^*(\lambda)$ やサイズ構造と Chl a の間の対応関係に基づいて開発された一般的なアルゴリズムは、東シナ海には適用できないことが示された。さらに、植物プランクトンの光吸収スペクトルによって、サイズ構造を推定できる高い可能性があることが明らかとなった。

第 3 章では、沿岸域でもグローバル海洋でも適用できる植物プランクトンのサイズ分画を推定するための新たなモデルを開発した。この手法では、規格化した植物プランクトンの光吸収係数（$a_{ph}(\lambda)$）のスペクトル情報の主成分分析(PCA)を利用した。$a_{ph}(\lambda)$ は規格化して現存量の効果を除き、その分散を PCA で独立の主成分（PC）に分けた。初めの 4 つの PC モードの変動を植物プランクトンサイズ分画と経験的な関数で関連付けた。この PCA で植物プランクトンのサイズ分画と有意に関連する変動スペクトルを抽出できた。いくつかの $a_{ph}(\lambda)$ のバンドのみを使用して、植物プランクトンのサイズ分画を正確に推定でき、パッケージング効果と色素組成が顕著な青と赤のバンドが重要であった。この手法はグローバル海洋にもうまく応用できた。疑似解析アルゴリズム(QAA)を用いてリモートセンシング反射率 (Rrs(λ))から求めた $a_{ph}(\lambda)$ で、モデルの精度を検討した。Rrs(λ)から推定した $a_{ph}(\lambda)$ は短波長でだけ妥当であったが、植物プランクトンのサイズ分画は正確に推定され、大型、中型、小型でそれぞれ 0.85、0.61、0.76 の決定係数、0.130、0.126、0.112 の二乗平均平方根誤差が得られた。しかし、MODIS 衛星の Rrs(λ) から QAA を用いて推定した $a_{ph}(\lambda)$ は、沿岸域や中· 高緯度の北半球では短波長でも妥当でなかった。このため、この手法を衛星データに応用するには、$a_{ph}(\lambda)$ のリモートセンシングの精度を上げる必要があるが、妥当な $a_{ph}(\lambda)$ が取得されれば本研究の手法は衛星観測にも適用できることを示している。

この研究は、河川の影響を受ける沿岸域で、植物プランクトンのサイズ構造とそれによる光吸収特性の違いを示した最初の研究である。Chl a に基づいて植物プランクトンのサイズ分画を推定するモデルを盲目的に使用することを避けるべきである。植物プランクトンの光吸収スペクトルが、そのサイズ構造を推定するために適していることを示した。本研究で示した植物プランクトンのサイズ分画を推定するための新しい方法は、$a_{ph}(\lambda)$ のスペクトル形状のみを利用している。この方法は、簡単に他の海域でも利用することができ、近い将来衛星観測から植物プランクトンの光吸収スペクトルが正確に推定できれば、植物プランクトンのサイズ構造の空間的および時間的変動を理解するのに役立つ。