

学 位 論 文 題 名

PHOTOSYNTHETIC FEATURES AND PRIMARY
PRODUCTIVITY OF PHYTOPLANKTON IN THE
NORTHWESTERN SUBARCTIC PACIFIC

（西部北太平洋亜寒帯域における植物プランクトン群集の光合成特性と
基礎生産力に関する研究）

学位論文内容の要旨

海洋植物プランクトンの基礎生産力（光合成）は、海洋生態系における物質循環の出発点であり、基礎生産力の大小はすべての生物生産を左右する。そのため、海洋における植物プランクトンの生理生態および基礎生産力の時空間変動を理解することは、人間活動による大気中への二酸化炭素放出による地球温暖化を含めた炭素循環変動、およびそれに伴う食物連鎖を通じた水産資源の研究にとっても大変重要である。現在、海洋の基礎生産力を時空間的に見積もるために、衛星観測と基礎生産力推定生物光学モデルとを組み合わせた研究が盛んに行われている。多くのモデルの中でも、現在、Behrenfeld and Falkowski (1997)が開発したVGPM (Vertically Generalized Production Model) が最も良く用いられている。しかしながら、全球もしくは海盆スケールの基礎生産力を推定する際にはこのモデルは良い推定をみせるが、局所的な海域など水塊スケールにおける基礎生産力の推定には適さない事が指摘されている (Seigel *et al.*, 2001; Campbell *et al.*, 2002)。その場合、その海域での植物プランクトンの光合成—光曲線などの光合成生理パラメータを的確に把握したローカルアルゴリズムの構築が必要不可欠である。

本研究調査海域である西部北太平洋亜寒帯域の、特に親潮域は、毎年春に大規模な植物プランクトンブルームが発生する (Kasai *et al.*, 1997; 1998)。この植物プランクトンブルームによって海洋表面の二酸化炭素分圧 ($p\text{CO}_2$) を下げる効果が世界の海の中で最も高い海域の1つであることが知られている (Takahashi *et al.*, 2002)。そのため、この海域における植物プランクトン群集の基礎生産力の変動は、全球の炭素循環変動にも大きな寄与を果たしていると考えられる。しかしながら、上記の主要因が植物プランクトン群集の高い光合成活性によるものだと言われているが、親潮域および黒潮親潮移行域における植物プランクトンの光合成—光曲線など光合成生理に関する知見は非常に乏しい (Liu *et al.*, 2004)。特に基礎生産力を含め、日周変化や季節変化および春季ブルー期の発生から終焉までの変化に関する知見は全くない。

そこで本研究では、2005年3月から一ヶ月おきに9月まで（航海1）、また、2007年4月から6月（航海2）にかけて、西部北太平洋亜寒帯域の親潮域および黒潮親潮移行域において、植物プラ

ンクトン群集の光合成特性および基礎生産力の日周変化や季節変化および親潮域春季ブルーム期の変動について調査した。

航海1の結果から、植物プランクトン群集組成、光合成生理パラメータおよび基礎生産力に明瞭な季節変化および海域での差が観測された。親潮域春季ブルーム期では、大型の珪藻類が優占し、他の季節または黒潮親潮移行域と比べて高いクロロフィル a 濃度および基礎生産力が観測された。本研究では、植物プランクトンが吸収した光をどれだけ炭素固定に利用しているかの指標（光利用効率）となるパラメータ、光合成の最大量子収率（ $\Phi_{c\ max}$, mol C mol photons⁻¹）の季節変動に着目した。環境状況が良好な天然植物プランクトン群集では、 $\Phi_{c\ max}$ は0.06 – 0.08 mol C mol photons⁻¹程度になる事が知られている（Babin *et al.*, 1996）。 $\Phi_{c\ max}$ は、親潮域の5月（春季ブルーム期）および9月では0.070 mol C mol photons⁻¹と黒潮親潮移行域と比べても高い値が得られた。また、疑似現場法にて測定した基礎生産力と $\Phi_{c\ max}$ との間に有意な相関が見られたことから、親潮域の植物プランクトン群集の高い光利用効率が高い基礎生産力を支えている事が初めて明らかとなった。また、光合成—光曲線に基づく基礎生産力推定生物光学モデルによって見積った基礎生産力とVGPMによって見積もった基礎生産力を比較したところ、黒潮親潮移行域では良く一致したが、親潮域の特に春季ブルーム期は全く一致しなかった。親潮域では $\Phi_{c\ max}$ など光合成生理が基礎生産力の変動に寄与するため、親潮域でも光合成生理パラメータに基づいた基礎生産力を推定するローカルアルゴリズムの構築が必要であることが示唆された。

航海2にて親潮域春季ブルーム期を集中的に観測した。表層のクロロフィル a 濃度は0.37 – 17 mg m⁻³で変動し、クロロフィル a 濃度が1 mg m⁻³を超える観測点では、体長が10 μm以上のマイクロサイズの植物プランクトンが優先していた。表層における基礎生産力（ PP_s ）および有光層までを深度積算した基礎生産力（ IPP ）は、それぞれ34 – 602 mg C m⁻³ d⁻¹、543 – 3,231 mg C m⁻² d⁻¹で変動した。航海1の研究結果で明らかになったように、衛星リモートセンシングから親潮域春季ブルーム期の基礎生産力を時空間的に見積もるためには、ローカルアルゴリズムの構築が必要である事がわかった。そのため、既存の基礎生産力推定生物光学モデル（VGPM）を元に、そのモデルの改良を行った。本研究では、有光層までを深度積算した基礎生産力（ IPP ）とVGPMによって見積もられた基礎生産力の間には有意な関係は見られなかった。しかしながら、このモデルの中で7次の水温の関数で表現されている光合成活性パラメータ（ P^B_{opt} (mg C mg Chl a^{-1} h⁻¹)) を、現場で測定した基礎生産力から見積もり（*in situ* P^B_{opt} ）、その実測値をVGPMに組み込んだところ、有光層までを深度積算した基礎生産力（ IPP ）との間に有意な直線関係が得られた。これらの結果から、VGPMの光合成活性を表す P^B_{opt} が推定誤差の主要因であったこと、また本研究から得られた*in situ* P^B_{opt} を衛星リモートセンシングから正確に見積もることができれば親潮域春季ブルーム期における基礎生産力をより正確に見積もられる事が示唆された。次に*in situ* P^B_{opt} を衛星リモートセンシングから見積もる方法を試みた。2007年親潮域春季ブルーム期において観測した、*in situ* P^B_{opt} およびクロロフィル a 濃度で規格化した植物プランクトンの比吸光係数（ $a^*_{ph}(\lambda)$ ）の関係を調査した結果、両者の間に有意な関係が見られた。またさらに、表層の基礎生産力（ PP_s ）と植物プランクトンの吸光係数（ $a_{ph}(\lambda)$ ）の間にもまた、有意な関係が見られた。この結果から、植物プランクトンの吸収係数が基礎生産力を推定する際の、強力な予測因子となりうる事が示唆された。現在、衛星リモートセンシング

から植物プランクトンの吸光係数を見積もる事が可能になってきているため (Garber and Seigel, 1997; Maritorene *et al.*, 2002; Carder *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2002; Lee and Carder, 2004) 、衛星リモートセンシングから植物プランクトンの吸光係数を見積もり、本研究の関係式を用いる事によって親潮域春季ブルーム期における基礎生産力が比較的簡単に見積もられる事が本研究によって初めて明らかとなった。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 鈴 木 光 次

副 査 教 授 乗 木 新一郎

副 査 教 授 吉 川 久 幸

副 査 教 授 齊 藤 誠 一 (大学院水産科学研究院)

学 位 論 文 題 名

PHOTOSYNTHETIC FEATURES AND PRIMARY PRODUCTIVITY OF PHYTOPLANKTON IN THE NORTHWESTERN SUBARCTIC PACIFIC

(西部北太平洋亜寒帯域における植物プランクトン群集の光合成特性と
基礎生産力に関する研究)

海洋において、植物プランクトンは、主要な基礎生産者であり、海水中の二酸化炭素および光を利用して光合成を行うことにより、有機物を生産する。この有機物は生食食物連鎖や微生物食物網の過程で消費、分解されるが、その一部は海洋の中深層へ輸送され、長期間、炭素が貯蔵される。この海洋生物による炭素貯蔵機構は生物ポンプとよばれ、その効率は植物プランクトンによる光合成（基礎生産）特性によって大きく支配される。申請者が研究対象とした西部北太平洋亜寒帯域は、世界有数の漁場であるとともに、生物による表面海水中の二酸化炭素分圧を下げる効果が世界の海の中で最も高い海域の1つであり、また生物ポンプの効率が非常に高いことで知られている。この高い生物生産および二酸化炭素吸収力の基盤は、植物プランクトンによる基礎生産（光合成）であることから、同海域における植物プランクトンの生態生理および基礎生産力の時空間変化を理解することは、今後の地球温暖化に伴う炭素循環過程や水産資源の変化を評価および予測する上で極めて重要である。しかしながら、西部北太平洋亜寒帯域における植物プランクトンの光合成生理および基礎生産力に関する知見は、申請者が本研究を開始するまで著しく乏しいものであった。

このため、申請者は先ず（独）水産総合研究センターの北海道区水産研究所および東北区水産研究所が定期的実施している北海道・東北沖の定線観測（A-Line）航海に2005年3月、5月、7月および9月に参加した。その結果、植物プランクトン群集組成、光合成生理パラメーターおよび基礎生産力に関して明瞭な季節変化と海域における違いがあることが明らかとなった。例えば、5月の春季親潮珪藻ブルーム期では、大型の珪藻類が優占し、他の季節あるいは黒潮親潮移行域と比べ、高いクロロフィル a 濃度および基礎生産力が観察された。また、植物プランクトン群集の光合成の炭素固定における最大量子収率は、親

潮域の5月および9月で著しく高い値が得られ、これと基礎生産力との間に有意な相関が得られたことから、親潮域の植物プランクトン群集の高い光利用効率が高い基礎生産を支えていることが本研究により初めて明らかとなった。さらに、光合成—光曲線に基づく基礎生産力推定生物光学モデル（光合成利用放射モデル）によって見積もった基礎生産力と全球の基礎生産力を衛星リモートセンシングにより推定する際に現在最も良く利用されている鉛直規格化生産モデル（VGPM）を用いて得られた値を比較した結果、黒潮親潮移行域において、両者は良い一致を示したが、親潮域の春季ブルーム期では相関が非常に低かった。この結果から、親潮域における光合成生理パラメーターに基づくローカルアルゴリズムの作成が必要であることが示唆された。

春季親潮ケイ藻ブルーム期における植物プランクトン群集の光合成生理特性の把握、および基礎生産力推定のためのローカルアルゴリズムを構築するため、申請者は2007年4月に国際プロジェクト OECOS (Oceanic Eco-dynamics Comparison in the Subarctic Pacific) の一環として実施された(独)海洋研究開発機構白鳳丸 KH07-1 次研究航海、5月および6月に(独)水産総合研究センター・東北区水産研究所の BLOSSOM (Blooming Plankton Succession Study in the Oyashio Marine Ecosystem) プロジェクトに関連した若鷹丸航海 WK0705 および WK0706 航海に参加し、集中海洋観測を行うことに成功した。観測期間中、表層では珪藻類が優占し、高い基礎生産力が観察された。また、基礎生産力を支配していたと考えられる因子を評価した結果、4月の表層における基礎生産力とクロロフィル a 濃度との間に有意な相関が確認され、その基礎生産力は主に植物プランクトン現存量に依存していたことが判明した。一方、5月および6月の表層における基礎生産力は、植物プランクトン現存量だけでなく、光合成—光曲線から得られる植物プランクトンの最大光合成速度にも依存していたことが、重回帰分析により明らかとなった。また、衛星リモートセンシングから春季親潮珪藻ブルーム期における基礎生産力を VGPM から推定した場合、水柱での最適光合成速度が最も影響力の大きい因子であることを発見した。さらに、水柱での最適光合成速度を衛星リモートセンシングから見積もることを検討した際、水柱での最適光合成速度はクロロフィル a 濃度で規格化した植物プランクトンの比吸光係数との間に有意な関係があることを見いだした。最近、衛星リモートセンシングからクロロフィル a 濃度で規格化した植物プランクトンの比吸光係数を見積もることが可能になっていることから、それと本研究で得られた関係式を用いることにより、春季親潮域の基礎生産力が比較的容易に見積もることが出来ることがわかった。

上記の科学的発見により、申請者は、北太平洋海洋科学機構 (PICES: North Pacific Marine Science Organization) の 2008 年度年会で Bio Committee Best Presentation Award (口頭発表の部) および平成 21 年度岩手県三陸海域研究論文募集で岩手県知事賞を受賞した。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士(環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。