

論文の内容の要旨

水圏生物学専攻

平成 22 年度博士課程進学

氏 名 西部悠太

指導教員名 古谷 研

論文題目 春季の黒潮続流域における植物プランクトン群集動態
および基礎生産に関する研究

日本南岸を流れる黒潮は、房総半島沖で離岸し東方に向かう。この流れは東経 160 度付近までは狭い強流帯を維持しており、この東流部分を黒潮続流と呼ぶ。黒潮続流は、栄養塩濃度が高く水温の低い亜寒帯域と、栄養塩濃度が低く水温の高い亜熱帯域を隔てる亜熱帯循環の一部であり、東進に伴い熱、塩分、栄養塩、生物等を輸送し、北太平洋の生物生産と物質循環に多大な影響を与えている。水産資源の観点からは、黒潮続流とその周辺海域は冬春季に黒潮域で産卵する小型浮魚類の生育場として加入および資源変動の鍵を握る海域と考えられている。有機物供給の始点であり、小型浮魚類餌料環境を決定する冬春季の植物プランクトンの生産力および群集動態の変動の理解は、小型浮魚資源変動における本海域の重要性を明らかにする上で不可欠であると考えられるが、これまでに黒潮続流域における春季ブルームの形成過程や、植物プランクトン群集動態は体系的に調査されていなかった。

本研究では、まず衛星海色探査による海面クロロフィル *a* 濃度の時空間変動を解析し、黒潮続流周辺域におけるブルームの発生時期、形成域および規模を調べた。次に、その

結果明らかとなった主要なブルーム形成域を中心とする海域を 2008 年から 2011 年にわたり行なわれた計 7 回の調査船航海における現場観測および実験により、春季ブルーム期の基礎生産および植物プランクトン群集組成と物理環境変動との関連を明らかにすることを目的とした。

衛星海色探査による春季ブルームの特徴 本研究では SeaWiFS クロロフィルデータを用いて北緯 34~37 度、東経 141~155 度の海域において、1997 年から 2007 年の海面クロロフィル a 濃度の変動を解析した。

黒潮続流周辺域では、解析を行なった全ての年でクロロフィル a 濃度が 1 月頃から徐々に上昇を始め、3 月から 5 月にかけて他の月に比べ顕著に高くなり、8~9 月に最も低くなるという共通した傾向が見られた。春季ブルームの規模を南北方向で比較すると、北緯 36~37 度で最も大きく南部の海域ほど小さかった。衛星画像では続流の北縁部で南部に比べ顕著にクロロフィル a 濃度が高く、北縁部におけるクロロフィル a 濃度は流路の不安定な年に低く、流路の安定した年に高くなる傾向が認められた。北縁部内では第一の谷以東でもクロロフィル a 濃度が高くなることもあるものの、東経 143~147 度の第一の峰から第一の谷にかけての北縁部海域が主要なブルーム形成域となることが分かった。また第一の峰の北縁部周縁では、春季ブルーム期に持続期間が 8~40 日のブルームが年に 1~3 回発生することが明らかになった。

植物プランクトン群集のサイズ別基礎生産速度 現場観測における船上培養実験を冬季から春季にかけての黒潮続流域および周辺海域における 22 測点で行い、疑似現場法により基礎生産速度を見積もった。サイズ分画は浮魚類仔稚魚の主餌料であるカイアシ類の摂餌選択性に基づき 10 μm で行った。

黒潮および黒潮続流域において、冬季の基礎生産は低く (61~185 $\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$)、小型藻類 (<10 μm) が主要な生産者であった。一方春季には、黒潮内側域で主要な生産者が大型藻類 (>10 μm) となり高い基礎生産 (443~871 $\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$) が観測されたのに対し、黒潮続流域では基礎生産の上昇が抑えられ (82~492 $\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$)、生産の主体は小型藻類のままであった。黒潮続流域内では第一の峰の北縁部、流軸南部で基礎生産の大きさおよび大型藻類の寄与が比較的高く、第一の峰以東ではいずれも低くなる傾向があり、海域によるブルーム形成過程の相違が示唆された。

生産の極大が認められた表層において硝酸塩とリン酸塩、硝酸塩とケイ酸の濃度比は、それぞれレッドフィールド比 (N:P=16:1) と珪藻類による一般的な取り込み比 (N:Si=1:0.9) より低くなっていたことから、硝酸塩が主に基礎生産を制御しているこ

とが考えられた。また冬季の黒潮続流域における硝酸塩濃度 ($1.5 \pm 0.83 \mu\text{M}$) は低く、ケイ酸 ($2.3 \pm 1.5 \mu\text{M}$) も珪藻類の生産が律速される濃度以下に広く分布したため黒潮続流域では珪藻類の生産が制限されることで春季の基礎生産が低く抑えられていることが示唆された。

冬春季の環境変動に伴う植物プランクトン群集動態 黒潮続流周辺域における表層の植物プランクトン群集組成については、これまで検鏡により主に大型藻類の分布が調べられてきた。この手法では海水試料の固定の際、弱い細胞壁を持つ小型藻類が消失する問題点があったため、本研究では植物プランクトンの色素解析により小型藻類を含む植物プランクトン群集の全体構造を推定した。色素試料は、冬季から春季にかけて黒潮および黒潮続流の流軸を縦断する観測線上に 20~110 km 間隔で設けた測点の 10 m 深度から採取した。得られた色素濃度から CHEMTAX 法により植物プランクトン群集組成を求め、これを群平均法により類別することで植物プランクトン群集構造と環境要因との関係を調べた。

概して観測域における基礎生産および植物プランクトン現存量は冬季から春季にかけて、混合層の浅化による光環境の好適化で増加し、成層の発達に伴う栄養塩の枯渇により減少した。冬季の黒潮続流域の植物プランクトン現存量は低く、クリプト藻類が第一優占藻類群ではあるものの、顕著に卓越する藻類群のない群集組成を示した。一方春季には、4月に流軸の南北両海域で緑藻類とクリプト藻類を主体とする現存量のやや高い群集が一樣に分布した。しかし春季ブルーム後半期の5月には、硝酸塩の枯渇した続流の南部はシアノバクテリアを主体とする現存量の低い群集に占められた一方、続流の北縁部では緑藻類とクリプト藻類を主体とする現存量のやや高い群集が分布した。珪藻類の優占する現存量の高い群集は第一の峰において認められたが、その観測例は僅かであった。

珪藻類生産生態 生食連鎖の主軸である珪藻類について細胞壁染色法から生産速度を評価し、検鏡および画像解析により主要な生産者を同定し群集全体のケイ酸取り込みに対する各種個体群の寄与を調べた。蛍光観察で 9 科 14 属 16 種の植物プランクトンを確認した。冬季には *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros didymus* 等の増殖を僅かに認めた。春季には、局所的に珪藻類が優占し最も高いケイ酸取り込み速度が得られた第一の峰の北縁部におけるケイ酸取り込みに対する寄与は *Rhizosolenia* 科 (77%)、*Chaetoceros* spp. (15%)、*Bacteriastrum* spp. (0.91%)、*Thalassiosira* spp. (0.46%)、羽状目 (0.023%)、ケイ質鞭毛藻 *Dictyocha octonaria* (0.46%)、その他 (6.1%) であ

り、*Rhizosolenia* 科の中では *Proboscia alata* が最も活発に増殖していた。しかし、第一の谷および第二の峰の北縁部ではケイ酸取り込み速度が低く、*P. alata* の寄与も小さくなっていた。ケイ酸取り込み速度は $0.15\sim 2.2 \mu\text{mol L}^{-1} \text{d}^{-1}$ の範囲で変動した。これと現場ケイ酸濃度から、表層ではケイ酸は滞留時間 $0.5\sim 11$ 日で回転していたと見積もられた。回転率の最小値は続流北縁に存在し、この海域でケイ酸が枯渇しやすいことが示された。

これらの結果により、春季の黒潮続流域における春季ブルーム形成過程は、以下に示す代表的な 3 海域毎に異なると考えられた。(1) 第一の峰の北縁部と流軸周辺において全画分および $>10 \mu\text{m}$ の基礎生産が高い傾向があり、この高い生産性は、続流南部の暖水が北部の冷水上に分布し混合層深度が浅くなることでもたらされていることが考えられた。各測点の群集組成から、低塩で混合層の浅い北縁部では珪藻類が、高塩で混合層の深い流軸周辺では緑藻類およびクリプト藻類が生産の主体であることが示唆された。(2) 第一の峰の流軸南部では冬季から混合層の浅化が進行しないにも関わらず、第一の峰の北縁部や流軸周辺と同程度に高い全画分および $>10 \mu\text{m}$ 画分の基礎生産が得られた。この要因として、これらの測点では表層付近にごく弱い成層が認められ、春季の黒潮続流域では低気圧の通過による擾乱が頻繁に起こるため、擾乱に伴う有光層内への栄養塩の供給後に光環境の好適な成層部で高い生産が得られたことが考えられた。この海域では緑藻類が主要な生産者となっている。(3) 第一の峰の東部では、春季の基礎生産の上昇が上記の海域に比べ低くなる傾向があった。第一の谷、第二の峰の北縁部ではいずれもプラシノ藻類、クリプト藻類が現存量の主体となっていた。基礎生産は続流の蛇行に沿って生じる移流に影響を受け、谷の北縁部で栄養塩が枯渇するものの、硝酸塩とケイ酸が十分に残存し混合層の浅い続流の第二の峰の北縁部でも生産が抑えられていることから、上記以外の要因が基礎生産に影響を与えている可能性が考えられた。

以上本研究から、春季の黒潮続流域では海域によりブルームの形成種および基礎生産構造が異なることが明らかとなった。特に顕著なブルーム形成海域となる第一の峰から谷にかけての続流北縁部では、南部の暖水が北部冷水上に分布し混合層の浅くなる環境下で緑藻類やクリプト藻類、プラシノ藻類が群集の中心であり、生食連鎖の起点となる珪藻類の優占は更に混合層の浅くなる北域に限られることが判った。今後は、小型藻類を巡る食物網構造を明らかにする一方で、黒潮続流の前線域を中心に同一水塊を追跡する現場観測を実施することで、本海域植物プランクトンブルームの遷移過程が浮魚類資源変動に与える影響の解明が進むと期待される。