

氏 名 荒井 頼子

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 902 号

学位授与の日付 平成 17 年 9 月 30 日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 衛星リモートセンシングデータを用いた南極海季節海水域
におけるクロロフィルの分布に関する研究

論文審査委員 主 査 教授 小達 恒夫
教授 福地 光男
教授 神田 啓史
教授 斉藤 誠一（北海道大学）
教授 古谷 研（東京大学）

論文内容の要旨

本研究は、衛星リモートセンシングデータを用いて、南極海洋生態系の基礎生産者である植物プランクトンについて、海氷域における夏季のブルームの発生メカニズムを明らかにすることを目的として、1) 季節海氷域におけるクロロフィル濃度の空間分布と時間変動、2) 季節海氷域におけるクロロフィル濃度と変動と海氷密接度、海面水温および海上風速との関係に関する研究を行った。

研究海域および期間は、60-70°S、10-60° E および 1997 年 11 月-2004 年 4 月のそれぞれ 11 月から 4 月の期間とした。使用した衛星リモートセンシングデータは、SeaWiFS、AVHRR および SSM/I により観測されたデータで、それぞれ、クロロフィル濃度、海面水温および海氷密接度と海上風速の物理量プロダクトを用いた。

月平均クロロフィル濃度分布は、2002 年を除き、1 月に高いクロロフィル濃度を示す傾向が多くみられたが、2001 年 12 月から 2002 年 4 月には海域全体で常に低いクロロフィル濃度を示した。60° S から 65° S、10° E から 50° E の海域において、1998 年および 2002 年の経度方向におけるクロロフィル濃度の変動は小さかった。その他の年では、クロロフィル濃度は西側で高く、1999 年、2000 年、2001 年、2003 年および 2004 年において、それぞれ、0.12~0.79 mgm^{-3} 、0.27~0.97 mgm^{-3} 、0.08~0.45 mgm^{-3} 、0.12~0.50 mgm^{-3} 、0.10~1.23 mgm^{-3} を示した。また、65° S から 70° S、10° E から 50° E の海域において、2003 年の経度方向におけるクロロフィル濃度の変動は小さかった。1998 年、1999 年、2001 年および 2004 年において、クロロフィル濃度は西側で高く、それぞれ 0.34-0.78 mgm^{-3} 、0.27-1.83 mgm^{-3} 、0.14-0.84 mgm^{-3} および 0.24-0.98 mgm^{-3} を示した。一方、2000 年および 2002 年におけるクロロフィル濃度は東側で高く、それぞれ 0.18-0.59 mgm^{-3} および 0.14-1.64 mgm^{-3} を示した。

外洋テストエリアの月平均クロロフィル濃度の時系列では、1 月に急激にクロロフィル濃度が増加して 0.8 mgm^{-3} 以上の濃度を示し、その後減少する傾向が、1998 年から 1999 年、1999 年から 2000 年および 2003 年から 2004 年において見られた。また、2000 年から 2001 年および 2002 年から 2003 年においては、それぞれ 1 月と 2 月に月平均クロロフィル濃度の増加が見られたが、増加量は少なく、0.5 mgm^{-3} 以下の濃度を示した。一方、1997 年から 1998 年および 2001 年から 2002 年においては、常に 0.3 mgm^{-3} 以下の値を示し、変動は見られなかった。

沿岸テストエリアの月平均クロロフィル濃度の時系列では、急激なクロロフィル濃度の増加が、1999 年から 2000 年、2000 年から 2001 年および 2003 年から 2004 年において、それぞれ 2 月、12 月および 1 月に見られ、0.6 mgm^{-3} 以上の値を示した。また、1997 年から 1998 年および 1998 年から 1999 年においては、それぞれ 1 月と 2 月に月平均クロロフィル濃度の増加が見られ、それぞれ、0.5 mgm^{-3} および 0.35 mgm^{-3} の月平均クロロフィル濃度の値を示し、2002 年から 2003 年においては、11 月に最も高い月平均クロロフィル濃度を (0.37 mgm^{-3}) 示した。一方、2001 年から 2002 年においては、常に 0.25 mgm^{-3} 以下の値を示し、変動は見られなかった。

クロロフィル濃度の増加は、氷の衰退による融解水の生成と季節変化に伴う太陽高度の増加が、水塊の成層化と植物プランクトンの光合成に必要な太陽放射量の増加を与え、夏

季の植物プランクトンブルームが生じた結果であると考えられる。このことは、海氷域におけるアイスエッジブルームの発生スキームと一致する。しかしながら、本研究では、海氷が後退しているのにも係わらず、クロロフィルの増加が見られない年が多く見られた。クロロフィル濃度の変動が殆ど見られなかった年には、海氷密接度は12月と1月に高い密接度が見られた。従って、海氷に覆われる面積が広く、十分な太陽放射が水中に取り込まれないために、植物プランクトンブルームが制限されていると考えられる。また、ブルームの発達進まない時の表面水温は、外洋テストエリアで3°C、沿岸テストエリアで2°C以上の値を示していた。本研究で用いられた衛星光学センサにより測定された表面水温は、表皮層の数 mm の水温であり、表面水温の結果は極表皮層の値を反映していると考えられる。本研究海域における海上風速と海面水温の関係を見ると、外洋テストエリアにおいて、海上風速と表面水温の間には負の関係が見られ、1月の傾きの絶対値が最も大きい値を示した。一方、沿岸テストエリアでは、海上風速と表面水温の関係が明確ではなかった。海氷の融解後の海域においては、海上風速が弱い時には表皮層は安定しており、太陽放射の影響を受けやすく、その結果、海上風が弱いほど水温が上昇しやすくなると考えられる。また、海上風の影響に加えて、外洋域においては、12月には融解水が及ぼす水温の低下への影響があり、沿岸域では海氷が全て融解せず、常に融解水の影響を受けていると考えられる。

海上風は、表層を攪乱することで鉛直混合を引き起こすが、その時間と強度が少ない場合には、表皮層の水温の変動を左右する要因となると考えられる。夏季の短期間に広い海域で海氷の衰退と発生が生じる南極海季節海氷域においては、開放水面が数ヶ月である。その結果、風速の弱い年には融解水と表皮層との混合が不足することにより、海面水温が上昇し、アイスエッジブルームに代表される植物プランクトンに対して、光・熱阻害を与える環境となり、その結果、クロロフィルの増加が抑えられていると推測される。これは、季節海氷域が広く、開放水面となる期間が短い海域における特徴的な要因であると考えられる。

論文審査結果の要旨

申請のあった論文は、夏季の南極海季節海氷域における植物プランクトン分布の時空間変動要因を明らかにすることを目的としたものである。その目的のため、植物プランクトン量として、昭和基地で受信した海色センサーSeaWiFSのデータ（クロロフィル濃度）を用いた。また、海洋環境データとして、NOAA/AVHRRによる海面水温、DMSP/SSMIによる海氷密接度及び海上風速のデータを用いた。これら衛星リモートセンシングデータを処理・解析し、クロロフィル濃度の分布との関係を議論したものである。研究対象海域は、昭和基地沖合いを含む、南緯 60 度から 70 度、東経 10 度から 50 度の範囲とした。また、対象期間は、SeaWiFS が安定した観測を行っている 1997 年以降の 7 年分の夏期（11 月から 3 月）である。

一般に、夏季の南極海氷縁海域においては、融解した海氷が表層の塩分低下をもたらすため、海洋表層の成層構造を発達させ、植物プランクトンの増殖に都合の良い環境をもたらすと考えられており、そこで植物プランクトンが増殖する現象は氷縁ブルームと呼ばれている。本研究でも、12 月から 1 月にかけて海氷域が退行し、ブルームが起こっていることを示したが、その規模や発現時期には大きな年変動があることを明らかにした。そこで、研究対象海域でもしばしば大きなブルームが観測された、南緯 60 度から 65 度、東経 10 度から 20 度の海域（低緯度海域）と南緯 65 度から 70 度、東経 30 度から 40 度の海域（高緯度海域）について、クロロフィルの分布と海洋環境について詳細な検討を加えた。

その結果、海氷密接度が低くなる、すなわち海氷の融解・退行が遅れた年には、平均クロロフィル濃度で、 $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ を超えるような顕著なブルームが見られないことを明らかにした。また、顕著な氷縁ブルームが発現するために必要な海氷密接度が低下する時期は、低緯度海域で 12 月半ばであるのに対し、高緯度海域では 1 月半ばと、遅い時期まで許容されることを示した。これは、緯度帯による日照時間の違いに起因すると考えた。

更に、早い時期に海氷密接度が低下しても、顕著なブルームが見られる年と見られない年があることについて議論した。そして、低緯度海域及び高緯度海域とも、顕著なブルームが見られなかった年は、海面水温の高い傾向があることを明らかにした。また、顕著なブルームが発現しても、その後に海面水温が上昇するとクロロフィル濃度が低下することを示した。一方、海面水温と海上風速の間には負の相関関係があり、海上風速 $7 \sim 9 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ の時に最もクロロフィル濃度が高くなることを明らかにした。衛星で得られる海面水温は表面の極薄い層の温度であることから、海上風速が極めて低い状態が続くと、太陽放射を受けた海面の極薄い層の温度が大きく上がるためと考えた。すなわち、海上風速が極めて弱く、海面水温が上昇した場合、植物プランクトンは表層滞留時間が著しく長くなり、紫外線の暴露、強光阻害や高水温での生理活性低下といった植物プランクトンの増殖にとってマイナス要因を引き起こすため、植物プランクトンは増えにくくなっていると考察した。一般に、植物プランクトンの増殖には、海洋表層の成層構造が発達することが必要と考えられているが、南極海では過度の成層が逆に植物プランクトンの増殖を妨げている可能性があることを新たに指摘した。

以上のように、衛星リモートセンシングの利点である面的な観測及び時間的に高頻度で連続的な観測結果を、7 回の夏期に渡り処理し、植物プランクトンの分布と環境要因を包括的に解析した試みは初めてであり、得られた結果やその解釈も学位論文として価値がある。また、得られた結果には新しい知見が含まれており、解析方法を含め、論旨の展開など適切であり、この分野の研究の新しい展開に重要な貢献をすると認められることから、本審査委員会では、申請した論文は、学位（理学）に相当すると全員一致で判定した。