

論文の内容の要旨

水圏生物科学 専攻

平成21年度博士課程 進学

氏 名 児玉武稔

指導教員名 古谷 研

論文題目 太平洋熱帯亜熱帯海域における栄養塩環境変動と
植物プランクトン群集動態に関する研究

熱帯・亜熱帯には、表層混合層における栄養塩濃度が極めて低いレベルに維持される貧栄養海域が広く分布する。こうした貧栄養海域では、プランクトン群集の生物量は少なく、変動に乏しいことから、漂流生態系は安定で均質であると見なされている。近年、栄養塩の高感度分析法が確立され、貧栄養海域の表層でも栄養塩濃度は常法の検出限界以下のナノモルレベルで時空間的に大きく変動することが明らかになってきた。このため、植物プランクトン群集もその変動に応答して変化していると考えられ、これまでの安定で均質な生態系の概念が見直されている。しかし、こうした知見は、ハワイ、バミューダ周辺海域に集中しており、外洋域からの報告は乏しい。亜熱帯海域の生物生産力は亜寒帯海域や沿岸域に比べると低いですが、その広大な面積から全海洋の生産に占める割合は大きく、生物生産力の支配要因として栄養塩環境の評価は重要である。本研究は、太平洋熱帯亜熱帯海域における表層混合層の栄養塩分布をナノモルレベルで明らかにし、その時空間変動のメカニズムと植物プランクトン群集動態との関係の解析から、栄養塩環境から見た各海域の海洋学的特徴を解明することを目的とした。

観測は、海洋研究開発機構の研究船「淡青丸」および「みらい」による計7回の航海において、東シナ海からフィリピン海、西部太平洋（36°N～35°S、130°E～180°）、南太平洋（17°S 線上、85°W～155°E）で行った。いずれの航海においても表層の成層が発達していた。航走中、船底からくみ上げられた表層海水の水温、塩分、クロロフィル蛍光、栄養塩

濃度を連続測定し、さらに海水試料を随時採取して植物プランクトン群集組成を調べた。観測点では表層混合層の各層から CTD-CMS ニスキン採水により試水を得て、上記の項目を観測した。さらに、2008 年 6 月には西部北赤道海流域の定点において 22 日間にわたる連続観測を実施した。

栄養塩濃度は、検出部に長光路キャピラリーセルを適用した高感度比色分析法を用い、硝酸塩+亜硝酸塩 (N+N)、アンモニウム塩 (NH_4)、溶存反応性リン (SRP) を測定した。栄養塩濃度の検出範囲は、 NH_4 および SRP は 3~1000 nM、N+N は 0.5~3000 nM であった。植物プランクトン群集組成はフローサイトメトリーならびに検鏡で細胞密度を計測し、高速液体クロマトグラフィーでクロロフィルならびにキサントフィル濃度を定量した後、CHEMTAX 法を用いて網レベルの植物プランクトン群集組成を推定した。

東シナ海およびフィリピン海 東シナ海からフィリピン海にかけての海域に認められた特徴は、1) 栄養塩濃度が東シナ海側で高くフィリピン海側で低い、水平方向の濃度勾配の存在と、2) パッチ状の高 N+N 濃度水の存在である。前者については、東シナ海でフィリピン海と比べて栄養塩躍層が浅く、栄養塩躍層付近での深度方向の濃度変化が大きいため、下層から表層への栄養塩供給を受けやすいためであった。後者については、水平距離が 2~52 km の N+N 濃度のパッチ状の増加が 3 回の航海において計 20 カ所認められた。これらの高 N+N パッチは N+N 濃度の増加が (1) 水温の低下とクロロフィル蛍光ならび SRP 濃度の増加を伴うタイプ、(2) 塩分の低下を伴い、クロロフィル蛍光ならび SRP 濃度は変動しないタイプ、(3) その他のタイプ、の 3 種類に分けられた。タイプ 1 は島周辺に分布し、局地性湧昇などの亜表層水由来であった。タイプ 2 は、SRP をほとんど含まず、各パッチ内で N+N 濃度は塩分に対していずれも有意な負の相関を示した。この相関を塩分ゼロに外挿すると N+N 濃度は 0.14~6.2 μM となり、観測海域周辺で観測される雨水中の硝酸塩濃度に一致することなどから、降水由来であると判断された。この外挿値と降水量から求めた観測海域の降水による窒素供給量は、同海域の窒素固定量ならびに渦拡散による下層からの供給量と同程度であることから、降水は重要な窒素供給源であると結論される。

西部太平洋における海盆スケールの時空間変動 西部太平洋では、赤道湧昇域や表面水温が低下して成層が弱い一部の海域では N+N は >100 nM と高い濃度であり、局所的に上記の高 N+N パッチが認められたが、海盆スケールでは成層が発達し N+N 濃度は <20 nM と総じて低かった。この低 N+N 海域でも海域によって濃度の違いが認められ、西部太平洋暖水プールを中心とした熱帯域や黒潮統流域では 5 nM 以上存在したのに対して、南太平洋亜熱帯循環域ではほぼ 5 nM 以下、さらに北太平洋亜熱帯循環中央部では 3 nM 以下に枯渇していた。この海域による濃度の違いは、下層からの供給の違いを反映したものと考えられる。

SRP 濃度は N+N よりも大きな海域間の変動幅 (<3~300 nM) を示したが、観測を行った 4 航海に共通して 22~26°N の海域で最も低い濃度が観測された。この海域では窒素固定活

性が周辺海域と比較して高い傾向にあり、窒素の供給に伴う SRP の消費を反映したものと考えられる。この海域の SRP 濃度には季節変化が認められ、11~2 月にかけては 5 nM 以上存在したが、3~9 月にかけてはほぼ検出限界以下であった。11~2 月にかけては混合層深度の深化と渦拡散により下層からの SRP 供給速度が増えるのに対し、3~4 月には降雨による窒素供給量が増加し、また、3~5 月にはアジア大陸からのダスト降下が増加するため、鉄の供給により窒素固定が高まり、さらにダストに含まれる窒素栄養塩の沈着も加わり、SRP 消費が増加したためと考えられる。

一方、N+N および SRP とは異なり、NH₄ には大規模な海域間の違いは認められなかったが、より小さな空間スケールでの変動を示した。NH₄ 濃度が高い海域は 1) 下層からの N+N 供給が活発な高 N+N 海域、2) フィジー南方の 19°~23°S の高トリコデスミウム海域であった。いずれの海域にも、NH₄ 濃度とクロロフィル蛍光ならびにクロロフィル *a* 分解物のフェオフィチン *a* 濃度とに正の相関があり、生物生産の活発な水塊で動物プランクトンの摂食による NH₄ の再生を反映したものと考えられる。さらに 2) の海域ではトリコデスミウムからの NH₄ の細胞外滲出の可能性が示唆された。

南太平洋における東西分布 南太平洋亜熱帯海域では、東西方向に N+N、NH₄、SRP いずれも東で濃度が高く、西で低い勾配があり、とくに N+N 濃度は 150°W 以東は常に 10 nM 以上であったが、これは、赤道湧昇の影響と考えられた。すなわち、赤道湧昇は東方に向かって発達しており、その影響を受けた水塊が南方に水平移流により張り出したものである。

西部北太平洋における短期間変動 北赤道海流内の定点観測では、22 日間の観測期間中、1) 水塊の移流、2) 生物活性の変化、および 3) 潮汐による栄養塩環境の変化が認められた。すなわち、観測開始後 10 日から 15 日にかけて混合層内の SRP 濃度が 60 nM から 20 nM 以下まで減少したが、基礎生産及び窒素固定から求めた植物プランクトンによる消費では観測された減少の約 15% しか説明できなかった。海色及び海面高度の観測から、前述した観測域北側に分布する低 SRP 海域の水塊が移流してきたことが示され、水塊の入れ替わりによるものと判断した。水の入れ替わりに伴い窒素固定活性が高まっており、観測域北側の低 SRP 海域の特徴が認められた。また、別の日には、雨天による光律速で基礎生産速度が低下した期間に NH₄ 濃度が 25 nM まで増加する現象が認められた。水柱積算でみると NH₄ 増加量と基礎生産低下量がほぼ等しく、且つ両者の変化が鏡像関係となっていたことから、晴天時には、基礎生産による消費と均衡していた NH₄ の再生が、基礎生産の低下に伴って植物プランクトンによって利用されずに NH₄ が残存し検出されたと考えられる。さらに観測 2 日目と 4 日目の 3 時間毎の 24 時間観測から、亜表層クロロフィル極大付近では、潮汐による密度躍層の上下と同期して N+N 躍層が変動し、表層混合層底部の N+N 濃度が変化する様態がとらえられた。

栄養塩環境と植物プランクトン群集 観測海域を通して原核緑藻類が優占し、全クロロフィル *a* の平均 48% を占めた。次いでシアノバクテリア及びハプト藻類が多く、それぞれ 15%、11% を占めた。観測海域では一貫して窒素が制限要因となっていたが、原核緑藻類の現存量は NH_4 濃度とは正の相関はあるが N+N 濃度と有意な相関を示さず、これは原核緑藻類がほとんど N+N を利用できないことの現れと解された。シネココッカスおよび真核藻類の現存量は N+N 、 NH_4 濃度ともに正の相関を示した。以上から、供給される窒素栄養塩の種類が植物プランクトン優占グループを制御している可能性が示唆される。

以上、本研究より太平洋熱帯亜熱帯貧栄養海域ではナノモルレベルの栄養塩動態における物理過程と生物過程の関わり方は一様ではなく、海域により異なっていることが明らかになった。その類型化を基に調査海域は少なくとも 5 海域に区分けされた。窒素栄養塩の種類と植物プランクトン優占グループとの関係、および窒素固定者の存在は、ナノモルレベルの栄養塩環境の変動によって植物プランクトン群集の増殖活性が時空間的に変動することを示唆している。これまで、貧栄養海域における増殖速度に関する知見はマイクロモルレベルに留まっており、ナノモルレベルについてはほとんど不明である。今後、この点を中心に研究を進めることで、熱帯亜熱帯貧栄養海域の漂流生態系がもつとされている安定性や均質性が栄養塩環境の変動にどのように影響されるかが明らかになると期待される。