

西部北太平洋亜熱帯域の純群集生産を駆動するナノモルレベル栄養塩供給

○橋濱史典¹、安田一郎²、隈部あき¹、佐藤光秀³、笹岡洋志¹、飯田洋介⁴、塩崎拓平²、齊藤宏明²、神田穰太¹、古谷研⁵、Philip W. Boyd⁶、石井雅男⁴

(¹海洋大、²東大、³長崎大、⁴気象庁、⁵創価大、⁶タスマニア大)

【はじめに】

亜熱帯外洋域の有光層内の栄養塩は周年低濃度であり、通常のマイクロモルレベルの測定法では検出限界以下となるため、分布や供給プロセスについては不明な点が多い。一方、有光層内の年間純群集生産は $1.0\sim 3.3 \text{ mol C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ とプラスであり (Emerson 2014)、純群集生産を支える栄養塩供給プロセスの解明のためにこれまで多くの研究が行われてきた (e.g. Michaels et al. 1994)。Johnson et al. (2010) は、ハワイ沖における硝酸塩センサー付フロートを用いた時系列観測により、有光層下部での硝酸塩の季節変動が有光層全体の年間純群集生産に量的にバランスしていることを示した。しかしながら、全炭酸や溶存酸素の季節変動からは純群集生産の大部分は有光層上部で起こっていることが確認されており、その生産を支える栄養塩供給プロセスについては十分に理解されていない。本研究では、高感度分析技術を用いた西部北太平洋亜熱帯域の時系列観測により、ナノモルレベルの栄養塩濃度分布と鉛直フラックスを明らかにし、窒素固定や大気からの栄養塩フラックスも含めて有光層内の純群集生産を支える栄養塩供給を総合的に評価した。

【方法】

気象庁「凌風丸」および「啓風丸」による 2014 年 4 月~2019 年 5 月の期間の 13 航海に乗船し、観測を実施した。西部北太平洋 24°N 線上の 5 測点 (133.0~140.3°E) において CTD ニスキン採水を実施し、深度 200 m 以浅の 9 層から試料を採取した。また、高速水温計による乱流計測 (Yasuda et al. 2021) と光合成有効放射 (PAR) の鉛直計測も実施した。採水試料のうち、硝酸塩+亜硝酸塩 (N+N)、リン酸塩 (PO₄)、溶存有機態リン (DOP)、全粒状リン (TPP)、粒状リン組成は高感度吸光光度分析法 (Hashihama et al. 2009) を駆使して測定した。これらの他に全炭酸 (DIC)、植物プランクトン群集のデータも取得した。溶存成分 (DIC、N+N、PO₄、DOP) の鉛直フラックスは乱流計測により得られた鉛直拡散係数と溶存成分の鉛直濃度勾配から見積もった。観測海域の大気海洋間 CO₂ フラックスは Iida et al. (2021) の推定手法により求めた。窒素固定フラックスは、北太平洋亜熱帯域の既往知見 (Böttjer et al. 2021; Hashihama et al. 2020) を参考にした。大気から海洋表層へのエアロゾル N、P フラックスは、Martino et al. (2014) で示されている西部北太平洋亜熱帯域で実施された 5 航海のデータを用いた。

【結果と考察】

観測海域の表層水温 (SST) は 20.21~30.51°C であり、亜熱帯外洋域の冬から夏にかけての典型的な SST 変動を捉えることができた。SST に対して塩分 34.91 で規格化した nDIC、nN+N、nPO₄ の鉛直プロファイルプロットすると、有光層内 (0~100 m) においていずれも低温期から高温期にかけて濃度低下することがわかった (図)。有光層内の N+N と PO₄ にはナノモルレベルの季節変動があり、成層が強化される SST>28°C の高温期に 10 nM 以下となる傾向がみられた。N+N と PO₄ の鉛直フラックスデータから、SST<28°C の低温期に有光層上部の混合層まで届く下層からの供給が確認された。この供給はナノモルレベルの N+N と PO₄ の濃度勾配に依存しており、ナノモルレベルの栄養塩供給が有光層上部の純群集生産に寄与していることを初めて示すことができた。さらに、低温期の下層からの栄養塩供給は、微生物量の指標である有光層内の TPP の増加および TPP に占める PO₄ の割合の増加に対応しており、供給された栄養塩が微生物に利用されていることが示唆された。また、低温期から高温期にかけて植物プランクトン群集が真核植物からシアノバクテリア主体に変遷しており、低温期の下層からの栄養塩供給に連動して真核植物が増加することが示唆された。

亜熱帯外洋域では年間スケールで定常状態が仮定できるため、1 年間で有光層内に供給される C、N、P 量は年間純群集生産で利用される C、N、P 量とバランスする (Emerson 2014)。4 つの SST レンジ (<24、24-26、26-28、>28°C) における下層からの C、N、P フラックス、大気海洋間 CO₂ フラックス、窒素固定フラックス、エアロゾル N、P フラックスをボックスモデルに組み込んで年間 C、N、P フラックスを算出したところ、それぞれ 7.5×10^{-1} 、 9.5×10^{-2} 、 3.2×10^{-5} mol m⁻² y⁻¹ となった。これらフラックスの C:N:P 比は 2364:299:1 であり、亜熱帯粒状物の C:N:P 比 (107~243:16~35:1) (Martiny et al. 2013) と比較して C:P 比が一桁高かった。N フラックスについては窒素固定の寄与が 85% と大きく、純群集生産 (C フラックス) に見合う N 供給が確認されたが、P フラックスについては 90% が下層からの供給であり、純群集生産の要求を満たす P 供給は確認されなかった。本研究では DOP の鉛直・水平フラックスも評価したが、有光層内への有意なプラスのフラックスは認められなかった。亜熱帯外洋域では有機態 P は有機態 C、N に比べて選択的に分解することが知られている (Clark et al. 1998)。有光層内で迅速に分解された P が直ちに微生物に利用される選択的再生の循環が純群集生産を支える重要なプロセスであることが示唆された。

Nanomolar nutrient supply drives net community production in the western subtropical North Pacific

*F. Hashihama¹, I. Yasuda², A. Kumabe¹, M. Sato³, H. Sasaoka¹, Y. Iida⁴, T. Shiozaki², H. Saito², J. Kanda¹, K. Furuya⁵, P. W. Boyd⁶, M. Ishii⁴ (¹Tokyo University of Marine Science and Technology, ²The University of Tokyo, ³Nagasaki University, ⁴Japan Meteorological Agency, ⁵Soka University, ⁶University of Tasmania)