

親潮域における春季植物プランクトン増殖に関わる海洋-大気間の生物地球化学

Biogeochemical linkages between the ocean and the atmosphere during phytoplankton blooms in the Oyashio region

*西岡 純¹、鈴木 光次²、宮崎 雄三¹、谷本 浩志³

*Jun Nishioka¹, Koji Suzuki², Yuzo Miyazaki¹, Hiroshi Tanimoto³

1. 北海道大学低温科学研究所、2. 北海道大学地球環境科学研究所、3. 国立環境研究所

1. Hokkaido University, Institute of low temperature sciences, 2. Hokkaido University, Faculty of Env. Earth Science, 3. National Institute for Env. Studies

西部北太平洋の北西に位置する親潮域は、豊かな水産資源を生み出す重要な海域となっている。また親潮域は、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大きく、生物ポンプの効率が世界の海の中でも著しく高い海域である。この海域の高い生物生産や生物ポンプ能力は、植物プランクトン増殖に起因しており、中でも春季に起こる大増殖（ブルーム）が重要な役割を果たしている。この植物プランクトンブルームは、水塊構造や光環境に加えて、鉄や主要栄養塩（窒素、リン、ケイ素など）の供給量によって大きさが決まる。これまでに数多く親潮域の植物プランクトンブルームを対象にした研究が実施されており、親潮域本流における植物プランクトンの増殖過程に関しては多くの知見が集まっている。

冬季から春季にかけて、北海道の沿岸寄りには水温の極めて低い沿岸親潮水が存在する。この沿岸親潮水では、春季の早い時期に極めて大きな植物プランクトンの増殖が観測されている。沿岸親潮水は、冬季に始まる季節の進行とともに親潮域の広範囲に広がり、親潮域全体の春季植物プランクトンブルームに関与していると考えられるが、この水塊の役割は十分に理解されていない。

沿岸親潮水には低温・低塩分水の特徴が見られる。沿岸親潮水の起源については、これまでオホーツク海の水氷融解水、東サハリン海流の影響などが考えられてきたが、未だ十分に理解されていない。その中でも春季のオホーツク海水の融解は、低温・低塩分水を海洋表層に供給し、密度成層を発達させ、春季の植物プランクトンの増殖に大きな影響を与えている可能性がある。さらに海水は、冬季の間、大気降水や陸棚堆積物をトラップし、植物プランクトンの増殖に必須な鉄分を広範囲に移送している。このため海水融解水は、沿岸親潮水を介して鉄分の不足しがちな親潮域の栄養塩環境に大きな影響を与えていると推察される。さらに、沿岸親潮水は、道東域河川水や沿岸堆積物の影響を受け、渦や局所的な混合過程を経て沖合へと影響を与え、ブルーム期の植物プランクトンの分布に多大な影響を与えていることが水温やクロロフィル衛星画像から推察される。しかし、沿岸親潮水と親潮水間の様々なレベルでの水塊交換が、化学物質や生物の分布や群集組成にどのように影響を与え、親潮域のブルームを形成しているのかについては良く分かっていない。

また、植物プランクトンブルームが、気候変動に多大な影響を与えるDMSなどの生物起源ガスの発生や、有機エアロゾルを誘発する可能性があるが、その発生プロセスの詳細は未解明な点が多い。さらに、海洋大気中の生物起源ガスやエアロゾルは、大気化学反応を介して、雲生成と放射収支や海洋-大気間の炭素・窒素循環に関わり、海洋植物プランクトン増殖にフィードバックすると考えられる。加えて、人為起源二酸化炭素の増加に伴って、親潮域で起こる植物プランクトンブルームを起点とした物質循環（生物地球化学過程）がどのような影響を受けるのかについて科学的な知見を収集することは、将来予測の観点より喫緊の課題となっている。

これらの「植物プランクトン増殖に関わる海洋-大気間の生物地球化学的過程」の研究課題に取り組むために、2015年3月6日から26日に学術研究船白鳳丸を用いた観測研究を実施した。本航海は、沿岸親潮水、沖

合の親潮水、さらに水温前線を南に超えた暖水塊の各水塊を異系化して捉え、乱流混合などの物理プロセスを介した水塊間の栄養物質交換と、植物プランクトンブルーム発生機構、光学的特性、生物（微生物、動植物プランクトン）の群集組成と動態、および、それに伴う生物起源ガスや・エアロゾルの生成や雲粒生成などの大気化学的過程、さらには二酸化炭素濃度変化における植物プランクトンブルーム時の物質循環の応答などを調査することを目的として実施した。

本発表では、研究航海全体の概要および観測時の海洋環境の特徴と、特に植物プランクトンブルーム直前の栄養物質動態に関して報告する。

キーワード：植物プランクトンブルーム、海洋－大気間地球化学、親潮・沿岸親潮、栄養物質動態

Keywords: phytoplankton bloom, linkages between the ocean and the atmosphere, Oyashio - Coastal Oyashio water, micro- and macro-nutrients dynamics

Fine- and micro-scale observations in the Oyashio in winter

*田中 雄大¹、安田 一郎¹、後藤 恭敬¹、西岡 純²

*Takahiro Tanaka¹, Ichiro Yasuda¹, Yasutaka Goto¹, Jun Nishioka²

1. 東京大学大気海洋研究所、2. 北海道大学低温科学研究所

1. Atmosphere and Ocean Research Institute University of Tokyo, 2. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

During the R/V Hakuho-maru cruise in Mar. 2015, fine- and microstructure measurements in the Oyashio water were conducted using a CTD/LADCP and vertical microstructure profiler in order to know the spatial variability of wintertime turbulence field, which has not been reported so far at this area. At a station off the shelf break, whose bottom depth is about 530 m, one-day repeated observations were also conducted to know the temporal variability of turbulence intensity.

The energy dissipation rate, ε , was patchily elevated to $O(10^{-8})$ [W/kg] and was typically $O(10^{-10} - 10^{-9})$ [W/kg] in the upper 400 m depth (less dense than $27.0 \sigma_\theta$) across the Oyashio. Off the shelf break, where the one-day observation was conducted, strong turbulence with $\varepsilon = O(10^{-7})$ [W/kg] and $K\rho = O(10^{-3} - 10^{-2})$ [m²/s] was observed at around 60 - 70 m depth ($26.4 \sigma_\theta$), and $\varepsilon = O(10^{-8})$ [W/kg] and $K\rho = O(10^{-3})$ [m²/s] at around 350 m depth ($26.7 \sigma_\theta$) corresponding to the period of isopycnal heaving of about 50m. This strong mixing around $26.4 \sigma_\theta$ ($26.7 \sigma_\theta$) was enhanced when the along-isobath (down-sill) flow and its associated shear was strengthened. Harmonic analysis shows that the diurnal tidal flow was large in the upper 50 m, while the mean and semi-diurnal flow were also important at around $26.7 \sigma_\theta$ suggesting that the tidal flow may impact on the turbulence field at this place.

キーワード：乱流混合、親潮

Keywords: turbulent mixing, Oyashio

沿岸親潮水と親潮水における春季植物プランクトン群集の組成と光合成生理状態の違い

Differences in the composition and photosynthetic physiology of spring phytoplankton assemblages between coastal Oyashio and Oyashio waters

*鈴木 光次¹、吉田 和広¹、遠藤 寿¹

*Koji Suzuki¹, Kazuhiro Yoshida¹, Hisashi Endo¹

1. 北海道大学

1. Hokkaido University

毎春、北海道東部沖の沿岸親潮域および親潮域では、大規模な植物プランクトンブルームが発生する。一般に、冬季から春季にかけての沿岸親潮表層水は、親潮表層水に比べ、より低温、低塩分、高栄養塩の特徴を持つことから、両水塊において、植物プランクトン群集の現存量、組成、光合成生理状態に大きな違いが見られる可能性がある。そして、これら植物プランクトン群集の生態生理の違いは、両海域における生物地球化学過程および生態系に多大な影響を及ぼすことが予想される。しかしながら、これらに関する知見は未だ著しく限られている。このため、2015年3月6-26日に学術研究船白鳳丸、4月16-17日に練習船みさご丸を利用して、フィールド調査を実施した。植物プランクトン群集の現存量と組成は、超高速液体クロマトグラフィーによる植物色素解析から評価した。また、珪藻群集組成を明らかにするため、18S rRNA遺伝子を標的としたメタバーコーディング解析を行った。さらに、植物プランクトンの光合成生理状態を光合成一光曲線、クロロフィル可変蛍光、珪藻*rbcl*遺伝子発現から評価した。白鳳丸航海期間では、沿岸親潮域および親潮域の大部分の観測点では、植物プランクトンブルームが発生しておらず、珪藻類が優占していた。一方、みさご丸による沿岸親潮水の観測では、珪藻ブルームが発生していた。沿岸親潮水の珪藻群集では主に*Thalassiosira*属、親潮域では*Thalassiosira*、*Minidiscus*、*Fragilariopsis*属の混合群集が優占していた。現場水温から7°C上昇させて1日間培養実験を行った結果、沿岸親潮水では、珪藻*rbcl*遺伝子発現およびChl *a*濃度で規格化した最大光合成速度が顕著に増加したが、親潮水では同様の温度効果が確認できなかった。本研究結果から、沿岸親潮域の*Thalassiosira*属が海水温上昇に対して鋭敏に反応し、迅速にブルームを形成することが示唆された。

キーワード：植物プランクトン、春季ブルーム、群集組成、光合成生理

Keywords: Phytoplankton, Spring bloom, Community composition, Photosynthetic physiology

窒素・炭素安定同位体比を用いた親潮域における動物プランクトンの動態解析

Nitrogen and Carbon stable isotope ratios of zooplankton in the Oyashio region of the western North Pacific

*野口 真希¹、田所 和明²、兵藤 不二夫³、陀安 一郎⁴、由水 千景⁴、西岡 純⁵、原田 尚美¹

*Maki Noguchi¹, kazuaki Tadokoro², Fujio Hyodo³, Ichiro Tayasu⁴, Chikage Yoshimizu⁴, Jun Nishioka⁵, Naomi Harada¹

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター、2. 国立研究開発法人水産研究・教育機構 東北区水産研究所、3. 岡山大学異分野融合先端研究コア、4. 総合地球環境学研究所、5. 北海道大学 低温科学研究所

1. Research and Development Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Tohoku National Fisheries Research Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 3. Research Core for Interdisciplinary Sciences, Okayama University, 4. Research Institute for Humanity and Nature, 5. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Carbon and nitrogen isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) of organisms are controlled by not only biological factors, such as catabolism and assimilation, but also physical environmental conditions that influence the isotope ratios of primary producers (phytoplankton). To examine how different water properties (i.e., nutrients and temperature) affect $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in marine food webs, we measured $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of zooplankton in three distinct water masses: coastal Oyashio (COY), Oyashio (OY) and warm-core ring (WCR) water along the A-line monitoring transect (38N-42.5N, 144.5-147.5E) in March 6-26, 2015, cruise of the KH-15-1 of the *R/V Hakuho-maru* of the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), and in February 28 - March 16, 2015, cruise of the WK-15-03 of the *R/V Wakataka-maru* of the Tohoku National Fisheries Research Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency (FRA). Zooplankton samples were collected from 150 m depth to the surface using vertical tow of a NORPAC twin net (45cm mouth diameter, 0.355 mm mesh size). After collection, all samples were classified using a stereomicroscope into species or genus level, and only adults were used for isotopic analysis. Water samples were collected from the surface to 250m depth profiles for the measurements of $\delta^{15}\text{N}$ ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$). We compared the trophic fractionations of carbon and nitrogen isotopes ($\Delta\delta^{13}\text{C}$, $\Delta\delta^{15}\text{N}$) of zooplankton among the three water masses. We found that $\delta^{15}\text{N}$ of chaetognatha at COY tended to be higher than OY and WCR, but a simple relationship between $\Delta\delta^{15}\text{N}$ and $\Delta\delta^{13}\text{C}$, regardless of species or water masses. Combined with this $\Delta\delta^{15}\text{N}$ - $\Delta\delta^{13}\text{C}$ relation, the isotopic ratios of zooplankton would allow us to predict C and N isotope ratios of higher trophic consumers, such as carnivorous fish and seabirds.

キーワード：炭素・窒素同位体比、食物連鎖、親潮、同位体分別

Keywords: N and C isotope ratios, food chain, Oyashio region, isotopic fractionation

西部北太平洋域での大気窒素化合物沈着による海洋低次生態系への寄与評価

Contribution for the marine ecosystem at the North East Pacific Ocean by deposition of atmospheric nitrogen compounds

*竹谷 文一¹、相田 真希¹、池田 恒平²、山地 一代³、笹岡 晃征¹、松本 和彦¹、本多 牧生¹、金谷 有剛¹
*Fumikazu Taketani¹, Maki Noguchi Aita¹, Kohei Ikeda², Kazuyo Yamaji³, Kosei Sasaoka¹,
Kazuhiko Matsumoto¹, Makio Honda¹, Yugo Kanaya¹

1. 海洋研究開発機構、2. 国立環境研究所、3. 神戸大学

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Institute for Environmental Studies, 3. Kobe University

アジア域における産業活動などにより放出された物質が外洋域に輸送され海洋表層への沈着することにより栄養もしくは阻害物質として働き海洋生態系へ影響を及ぼす可能性がある。しかしながら、大気物質の海洋沈着による影響評価(応答)に関する知見が著しく低い。本研究では、これまで独立で評価されてきた大気化学領域輸送モデルと海洋生態系モデル、さらに衛星観測結果を併用し、窒素化合物が西部北太平洋域の海洋生態系に及ぼす影響を評価することを目的とした。

大気からの海洋への沈着量の見積もりは、大気化学領域モデルのWRF-CMAQを用いて、2009年～2013年(約5年分)の数値実験を行い、アンモニアおよび硝酸塩の乾性・湿性沈着の計算結果を利用した。海洋生態系モデルはNEMUROを用い、気候値を計算した後、大気から窒素化合物沈着の寄与を含めた数値計算を実施した。比較のために、MODISによるクロロフィル衛星観測の結果を利用し、多角的に窒素化合物沈着の寄与評価を行った。

亜熱帯域では、特に、夏季において、海洋生態系モデルによるクロロフィルの気候値による季節変動が衛星で取得したクロロフィルの濃度に対し、過小評価していることが示された。夏季の表層への栄養塩の供給源としては、海洋による混合の発達は低いため、大気からの供給の可能性が高く、外洋での大気沈着がクロロフィル濃度変動に寄与している可能性について検討した。

キーワード：大気エアロゾル、沈着、海洋生態系

Keywords: atmospheric aerosol, deposition, marine ecosystem