

西部北極海生態系モデルで再現された暖水渦の生物化学的特性

渡邊 英嗣¹、岸 道郎^{1,2}、石田 明生^{1,3}、野口(相田) 真希^{1,2}¹ 海洋研究開発機構 地球環境変動領域² 北海道大学 水産科学研究院³ 富士常葉大学 社会環境学部

Biochemical properties of warm eddies reproduced by western Arctic marine ecosystem model

Eiji Watanabe¹, Michio J. Kishi^{1,2}, Akio Ishida^{1,3}, and Maki Noguchi (Aita)^{1,2}¹JAMSTEC, Research Institute for Global Change²Hokkaido University, School of Fisheries Sciences³Fuji-Tokoha University, Department of Social Environment

Recent rapid sea ice retreat in the Arctic Ocean and its global/regional influence on atmospheric fields and ecosystem are a crucial topic. The Pacific water inflowing through the Bering Strait is a predominant source of heat, fresh water, and nutrients in the Arctic Ocean. Its transport has a potential to affect both the sea ice variation and marine ecosystem. Many previous studies have indicated that mesoscale baroclinic eddies play an important role in the Pacific water transport from the Chukchi shelf to the Canada Basin. The biogeochemical properties of an unusually large warm-core eddy observed by R/V Mirai in 2010 were reported in Nishino et al. [2011]. However, it is still unclear whether the eddy-like structures of biological signal attributed to lateral advection from the shelf region or were formed by primary production inside the eddies. In this study, the response of phytoplankton to the Beaufort shelf-break eddies in the western Arctic Ocean is examined using the satellite data analysis and the eddy-resolving coupled sea ice-ocean model [Hasumi, 2006] including marine ecosystem formulation of Kishi et al. [2007]. MODIS ocean-color scenes captured high chlorophyll-*a* distributions associated with warm-core eddies during the summer season in 2003 and 2010 (Figure 1). From the numerical experiment, the biogeochemical properties of shelf-break eddies are categorized into three stages. The sea ice margin is located north of the shelf-basin boundary, and several warm eddies are produced from July to September, as minutely described in Watanabe [2011]. The phytoplankton bloom depletes a great part of nitrate content over the shallow Chukchi shelf before the eddy-generation period, and consequently the initially generated warm eddies transport nutrient-poor shelf water to the Canada Basin interior (Figure 2a). The simulated lower nitrate concentration inside the warm eddies is consistent with the properties obtained by the Mirai cruise in 2010. At the same time, the large biomass of phytoplankton increased in the Chukchi shelf is taken into the warm eddies at the end of July. In the eddy-developing period, the phytoplankton biomass gradually decreases because of the limited primary production due to nutrient depletion and the grazing of zooplankton, which becomes a dominant component of phytoplankton biomass budget. On the other hand, in the eddy-maturity period, the local upwelling flow along the outer side of an individual eddy transports a significant amount of nitrate in the intermediate layer to the surface euphotic zone and enhances the primary productivity in the subsurface layer (Figure 2b). Thus, it is found that the shelf-break warm eddies contribute to biological activities in the western Arctic Ocean. The time lag between the phytoplankton bloom in the shelf region following the summertime sea ice retreat and the eddy generation along the Beaufort shelf break is an important index to determine biological regimes in the Canada Basin. When the phytoplankton bloom in the shelf occurs more later or continues more longer, the shelf-break eddies could enhance the primary productivity in the basin interior.

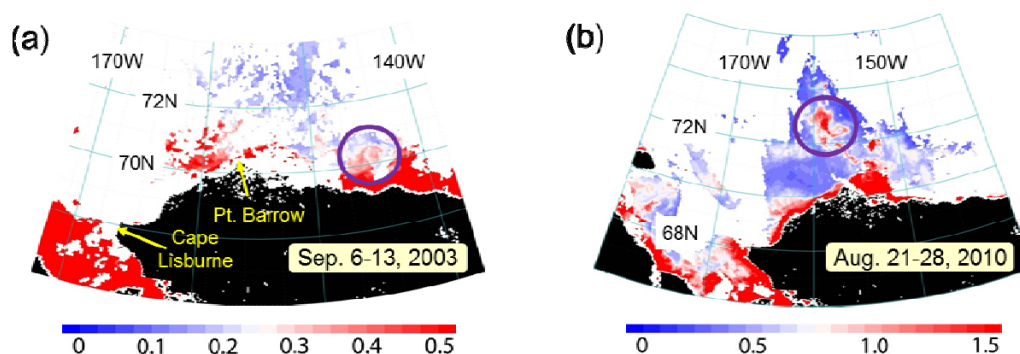


Figure 1. MODIS 8-day level-3 composites of chlorophyll-*a* concentration on (a) 6-13 September 2003 and (b) 21-28 August 2010 [mg/m^3]. Scene ID is (a) A20032492003256 and (b) A20102332010240.

北極海における近年の急激な海氷縁後退は大気場や生態系の応答も含めて重大トピックの1つとなっている。ベーリング海峡から流入する太平洋起源水は北極海の熱・淡水・栄養塩の主要な供給源であり、その輸送は西部北極海の家氷変動や海洋生態系と密接な関係にある。チャクチ陸棚域からカナダ海盆域への陸棚海盆間輸送には傾圧渦が重要な役割を担っていることが多くの先行研究から示唆されており、Nishino et al. [2011] では海洋地球研究船みらいによる北極航海で観測された巨大暖水渦の生物化学特性について詳しく報告されている。しかし報告された特性が陸棚域からの移流を反映しているのか、渦内部の局所的な基礎生産によって形成されたものなのかはまだ明らかでない。そこで本研究では陸棚海盆境界域の渦活動が生物化学過程に及ぼす影響について、衛星データと海洋生態系モデルの出力結果を解析した。MODIS画像では、2003年9月と2010年8月に渦状にクロロフィル濃度が高い分布がカナダ海盆南部で捉えられており (Figure 1)、同じシーンの海面水温も渦状に高いことから、暖水渦と植物プランクトンバイオマスが密接に関係していることが示唆される。次に西部北極海を対象にした渦解像可能な海氷海洋結合物理モデル COCO [Hasumi, 2006] に既存の海洋低次生態系モデル NEMURO [Kishi et al., 2007] を結合させ、夏季の生態系プロセスに着目するために3月から10月まで8か月間積分した結果を解析した。背景物理場の詳細は Watanabe [2011] で議論しているが、主な特徴として、夏季にノースウインド海嶺付近まで海氷縁が後退し、7月から9月にかけて陸棚海盆境界域で複数の暖水渦が生成されることが挙げられる。生物化学過程に着目すると、6月初旬にチャクチ陸棚域で海氷縁後退とともに植物プランクトンブルームが生じ、その下流域であるバロー峡谷以北で渦生成が活発化する7月下旬までに陸棚域のかなりの海域で硝酸塩が枯渇する。その結果、渦生成直後には暖水渦が貧栄養化した陸棚水をカナダ海盆域に輸送していた (Figure 2a)。暖水渦内部で硝酸塩濃度が低いことは2010年のみらい観測の結果とも整合的である。同時に、チャクチ陸棚域で増殖した植物プランクトンが暖水渦に取り込まれることで渦状のバイオマス極大が出現する。但し、この時点では既にバイオマスが減少傾向にあり、渦成長期には、栄養塩枯渇に伴う基礎生産抑制に加えて、動物プランクトンに捕食されることで植物プランクトンバイオマスがさらに減少する。一方で、その後の渦成熟期には、渦の外縁部で生じる湧昇流によって下層の栄養塩が有光層に供給されることで、渦内部で植物プランクトンが増殖するといったプロセスも続く (Figure 2b)。このように西部北極海の暖水渦は海盆域の生物活動に寄与することがわかった。一連のプロセスには、海氷縁後退に伴ってチャクチ陸棚域で生じるブルームとバロー峡谷の下流域で起きる渦生成のタイムラグが重要な意味を持っており、このタイムラグの長短によって暖水渦内部の生物化学特性が大きく変化する可能性もある。

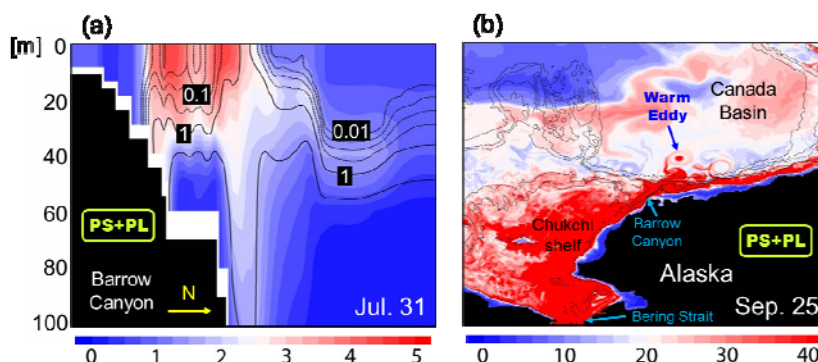


Figure 2. (a) Vertical profiles of (shade) phytoplankton and (contour) nitrate concentration across an individual warm shelf-break eddy on July 31 [μM]. (b) Total phytoplankton biomass in the top 60 m on September 25 [$\mu\text{M m}$]. Black contours show bottom bathymetry. $1\mu\text{M} \equiv 1\text{mmol-N/m}^3$.

謝辞：本研究は科学研究費補助金・基盤研究S『北極海の家氷激減 ～海洋生態系へのインパクト～』（研究代表者 原田尚美／海洋研究開発機構）において実施されている。

References

- Kishi, M. J., D. L. Eslinger, M. Kashiwai, B. A. Megrey, D. M. Ware, F. E. Werner, M. N. Aita, T. Azumaya, M. Fujii, S. Hashimoto, D. Huang, H. Iizumi, Y. Ishida, S. Kang, G. A. Kantakov, H. Kiml, K. Komatsu, V. V. Navrotsky, S. L. Smith, K. Tadokoro, A. Tsuda, O. Yamamura, Y. Yamanaka, K. Yokouchi, N. Yoshie, J. Zhang, Y. I. Zuenko and V. I. Zvansky, NEMURO - a lower trophic level model for the North Pacific marine ecosystem. *Ecological Modeling*, 202, 12-25, 2007.
- Hasumi, H., CCSR Ocean Component Model (COCO) version 4.0, CCSR report, 2006.
- Nishino, S., M. Itoh, Y. Kawaguchi, T. Kikuchi, and M. Aoyama, Impact of an unusually large warm-core eddy on distributions of nutrients and phytoplankton in the southern Canada Basin during late summer/early fall 2010, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2011GL047885, 2011.
- Watanabe, E, Beaufort shelf break eddies and shelf-basin exchange of Pacific summer water in the western Arctic Ocean detected by satellite and modeling analyses, *J. Geophys. Res.*, 116, doi:10.1029/2010JC006259, 2011.