

# ベーリング海における海氷生産量のマッピングと経年変動に関する研究

田丸直也<sup>1</sup>、大島慶一郎<sup>2</sup>、岩本勉之<sup>3</sup>、二橋創平<sup>4</sup>、中田和輝<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院 環境科学院

<sup>2</sup>北海道大学 低温科学研究所

<sup>3</sup>紋別市役所

<sup>4</sup>苫小牧工業高等専門学校

## Mapping and interannual variability of sea-ice production in the Bering Sea

Naoya Tamaru<sup>1</sup>, Kay I. Ohshima<sup>2</sup>, Katsushi Iwamoto<sup>3</sup>, Shohey Nihashi<sup>4</sup> and Kazuki Nakata<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan

<sup>2</sup>Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan

<sup>3</sup>Mombetsu City Hall, Mombetsu, Japan

<sup>4</sup>National Institute of Technology, Tomakomai College, Tomakomai, Japan

In the Bering Sea, coastal polynyas are frequently formed by divergent ice motion due to prevailing wind, influenced by Aleutian Low and/or ocean currents. Coastal polynyas are sites of intensive heat loss to the atmosphere because the insulative effect of sea ice is inversely proportional to the thickness of thin ice. Thus, coastal polynyas are high ice production areas and sites of dense water formation through the brine rejection process. Warner and Roden (1995) found anthropogenic chlorofluorocarbons in the bottom waters of the Aleutian basin, suggesting a possibility of temporary bottom water formation. In addition, some in-situ observations have revealed that saline and cold water extends eastwards from the Bering shelf, which can be related to dense water formation in the Gulf of Anadyr (Anadyr Water) [e.g. Eisner et al. 2012]. Anadyr Water contribute to maintaining high biological production in the Bering Sea because it features a high nutrients content. Hence the quantification of sea-ice production in the Bering Sea certainly of high interest, however, in-situ observation data are still insufficient. Iwamoto et al. [2013] developed an algorithm (I2013) for estimating thin ice thickness in the Arctic Ocean using Advanced Scanning Radiometer Earth Observing System (AMSR-E) brightness temperature data for the period 2002-2011. Further, Iwamoto et al. [2014] estimated ice production for the entire Arctic Ocean using the I2013 algorithm. In this study, we applied the I2013 algorithm to the entire Bering Sea and estimated sea ice production for the period 2003-2011. In addition, we applied the I2013 algorithm to AMSR2 data and estimate ice production for the period 2012-2016. Mapping of sea-ice production shows that the Anadyr Gulf polynya has by far the highest ice production in the Bering Sea (Fig. 1), and the second highest production in a pan-Arctic context after the North Water (NOW) polynya west of Greenland. Sea-ice production of the Anadyr Gulf polynya exhibits very large interannual variability (Table. 1), which is influenced by changes in the position and/or strength of the Aleutian Low.

ベーリング海は南西部に海盆（水深 ~3500m）、北東部に陸棚域（水深 ~100m）が広がり、冬になると海氷に覆われる季節海水域である。この海域は冬季に発達するアリューシャン低気圧の影響により北風が卓越し、ロシア、アラスカ、セントローレンス島といった各地の沿岸域にて沿岸ポリニヤが形成される。沿岸ポリニヤでは、莫大な熱が大気によって奪われるため、結果として高海氷生産域となり高密度水が生成され、沈み込みが起こる。Warner and Roden (1995) では海盆内での採水観測から、底層に高濃度の CFC-11 の層を発見し、近年ベーリング海で一時的に底層水が形成されている可能性を示唆した。古海洋学的研究からも最終退氷期にベーリング海で中深層水が生成され、熱塩海洋循環の重要な役割を担っていたことが示唆されている (e.g. Horikawa et al.,2010; Okazaki et al.,2010)。一方、ベーリング海陸棚域では西部から冷たく高塩分な水塊が流入しており (e.g. Eisner et al.,2012)、特にアナディール湾にて生成された高密度水の鉛直混合によって高いクロロフィル濃度が維持され、ベーリング海の生物生産を支える重要な役割を担っている可能性が示唆されている。以上の結果からベーリング海における海氷生産は水塊形成・古海洋・海洋生物などの視点において非常に重要な物理量である。しかしベーリング海の海水域は現場観測が難しく、海氷生産については、まだ十分なデータが得られていないのが現状である。

上記の問題を解決する手法として衛星リモートセンシング技術がある。Iwamoto et al. (2013; 2014) では、北極海を対象にマイクロ波放射計 AMSR-E より得られた輝度温度データを用いて熱的冰厚（ピクセル内で氷厚が一樣と仮定したときに正しく熱フラックスが算出される氷厚）を見積もるアルゴリズムを開発し、一日毎に得られた熱的冰厚データと ERA-Interim の気象データから熱収支計算を行うことで海氷生産量データを作成、マッピングを行った。そこで、本研究では AMSR-E のデータ（2002年 - 2011年）に加え、後継機である AMSR2（2012年 - 2016年）よ

り得られた輝度温度データを用いて Iwamoto et al. (2013) のアルゴリズムを適用し、ベーリング海の海氷生産量のマッピングを行い、それに基づいて解析を行った。

解析の結果、ベーリング海の主要なポリニヤにおいてアナディールポリニヤの海氷生産量が一番高く (Fig. 1)、北極海のポリニヤと比較しても NOW に次ぐ高生産であった。またアナディールポリニヤは経年変動も大きく、その変動係数は全球における海氷生産が高いポリニヤの中でも一番大きかった (Table. 1)。変動が大きい要因として冬期に発達するアリューシャン低気圧の強弱・位置が大きく関係していると考えられ、今後解析を進めていく予定である。

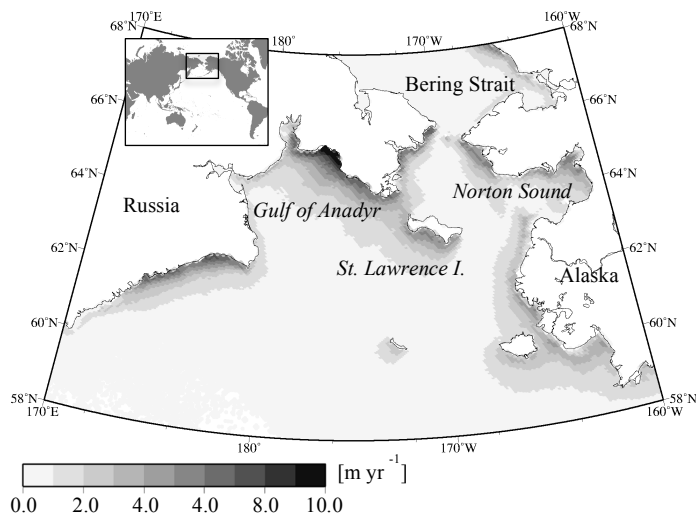


Figure 1. Map of annual cumulative sea ice production, represented by the sea ice thickness, averaged over 13 winters (October-May) of 2002/2003–2010/2011 and 2012/2013–2015/2016 in the Bering Sea.

Table 1. Mean values of annual cumulative sea ice production for the 8 major coastal polynyas with standard deviations and coefficient of variation for the interannual variation.

Polynya	Total Ice Production (km <sup>3</sup> /year)	Coefficient of Variation (%)
Gulf of Anadyr	106 ± 40	38.0
Arctic		
Franz Josef Land	44 ± 5	11.3
Novaya Zemlya	71 ± 16	22.5
North Water (NOW)	152 ± 24	15.8
Antarctic		
Cape Darnley	127 ± 12	9.4
Mertz	125 ± 19	15.2
Ross Ice Shelf	253 ± 17	6.7
Okhotsk		
Northwestern shelf	400 ± 52	13.0

<sup>a</sup> The values of total ice production are based on Ohshima et al. (2016) except for Gulf of Anadyr.

## References

- Eisner, L., Hillgruber, N., Martinson, E and Maselko, J., Pelagic fish zooplankton species assemblages in relation to water mass characteristics in the northern Bering and southeast Chukchi seas, *Polar Biology*, 36(1), 87-113, doi:10.1007/s00300-012-1241-0, 2012
- Horikawa, K., Asahara, Y., Yamamoto, K and Okazaki, Y., Intermediate water formation in the Bering Sea during glacial periods: Evidence from neodymium isotope ratios, *Geology*, 38(5), 435-438, doi:10.1130/G30225.1, 2010
- Iwamoto, K., Ohshima, K. I., Tamura, T and Nihashi, S., Estimation of thin ice thickness from AMSR-E data in the Chukchi Sea, *international Journal of Remote Sensing*, 34(2), 468-489, doi:10.1080/01431161.2012.712229, 2013
- Iwamoto, K., Ohshima, K. I. and Tamura, T., Improved mapping of sea ice production in the Arctic Ocean using AMSR-E thin ice thickness algorithm, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 3574-3594, doi:10.1002/2013JC009749, 2014
- Okazaki, Y., Timmermann A., Menviel, L., Harada, L., Abe-Ouchi, A., Chikamoto, M. O., Mouchet, A. and Asahi, H., Deepwater formation in the North Pacific during the last glacial termination, *Science*, 329(5988), 200-204, doi:10.1126/science.1190612, 2010
- Ohshima, K. I., Nihashi, S. and Iwamoto, K., Global view of sea-ice production in polynyas and its linkage to dense/bottom water formation, *Geoscience Letters*, 3:13, doi:10.1186/s40562-016-0045-4, 2016
- Warner, M. J. and Roden, G. I., Chlorofluorocarbon evidence for recent ventilation of the deep Bering Sea, *Nature*, 373, 409-412, 1995