

ベーリング海の水温構造とハシブトウミガラスの採餌行動の年変動

國分互彦^{1,2}、山本誉士^{1,3}、菊地デイル万次郎²、佐藤信彦²、綿貫豊³、Alexander S. Kitaysky⁴、高橋晃周^{1,2}
¹ 国立極地研究所、² 総研大極域科学専攻、³ 北海道大学水産科学院、
⁴ アラスカ大学フェアバンクス校

Foraging ecology of thick-billed murre in the Bering Sea: variability in relation to ocean thermal structure

Nobuo Kokubun^{1,2}, T. Yamamoto^{1,3}, D. Kikuchi², N. Sato², Y. Watanuki³, A. S. Kitaysky⁴, A. Takahashi^{1,2}

¹National Institute of Polar Research, Japan, ²Department of Polar Science, Graduate University for Advanced Studies,
³Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, ⁴University of Alaska Fairbanks

Southeastern Bering Sea is one of the most productive areas in the world where huge amount of predators inhabit. During recent decades, the area has experienced series of warm and cold regimes that lead abrupt changes in plankton and nekton community (Coyle et al. 2011). In this context, potential impacts of changes in the ocean thermal structure on apex predators have attracted ecologist's attention. The aim of this study was to reveal how variability in ocean thermal structure affects the foraging ecology of thick-billed murre (a representative seabird species in the Bering Sea). The field study was conducted on Saint George Island, Bering Sea, in 2004, 2006, 2007, 2013, 2014 and 2015 covering a series of warm and cold regimes. Small accelerometers were attached on chick-rearing thick-billed murre, and behavioral data was obtained from 12, 5, 4, 9, 12 and 7 birds successfully in the 6 years. Trip and flight durations, dive depth, Sea Surface Temperature (SST), thermocline depth and intensity, temperature at depth (>40m) in the foraging area were analysed with the acceleration, depth and temperature records (Kokubun et al. 2010). Prey species were also observed. Assuming the temperature at depth (>40m) as an indicator of the annual thermal condition, 2015 ($6.5 \pm 0.9^\circ\text{C}$) was the warmest year followed by 2004 ($5.4 \pm 0.8^\circ\text{C}$), 2014 ($4.9 \pm 1.0^\circ\text{C}$), 2006 ($4.5 \pm 1.0^\circ\text{C}$), 2013 ($3.7 \pm 0.9^\circ\text{C}$), 2007 ($2.4 \pm 1.2^\circ\text{C}$). Thermocline detected in the foraging area was most intense in 2007 ($6.0 \pm 1.5^\circ\text{C}$) followed by 2014 ($5.4 \pm 1.4^\circ\text{C}$), 2013 ($4.9 \pm 1.4^\circ\text{C}$), 2004 ($4.3 \pm 1.2^\circ\text{C}$), 2015 ($3.7 \pm 0.9^\circ\text{C}$) and 2006 ($3.6 \pm 1.2^\circ\text{C}$). In the years with intense thermocline (2007, 2014 and 2015), birds spent more time foraging in stratified waters (87-97%), whereas the birds also used mixed waters (11-28%) in 2006, 2015 and 2004 with less intense thermocline. In all years there was a peak of dive depth near thermocline depth (17-54% of dives), but in the coldest year 2007, there was another prominent peak (36% of dives) in deeper depths (>50m). Annual breeding success of the birds were positively correlated with thermocline intensity ($r = 0.864$) and negatively correlated with temperature at depth ($r = -0.819$). In summer, small fishes such as age-0 walleye pollock aggregate near thermocline depth, whereas recruitment of larger fishes including age-1 pollock increases during cold years. Intense summer thermocline is caused by cold previous winter when production of sea ice and cold pool is enhanced, and/or increased heating of sea surface during summer. Intense thermocline under such environmental conditions may lead high feeding efficiency of the birds through aggregation of small fishes. Especially in the colder years, large fishes with presumably slow swim speed may be available in addition to the small fishes around thermocline. We will discuss further on underwater foraging behavior of the birds in relation to thermal conditions by adding acceleration data.

南東ベーリング海は世界有数の高生産海域であり、多くの高次捕食者が生息する。同海域では近年、数年間にわたって続く温暖期-寒冷期が観測されており、それに伴って優占するプランクトンや魚の特徴が変化することがわかってきた(Coyle et al. 2011)。このような水温構造の変化が、海洋生態系の栄養の流れを通じて、高次捕食者にどのような影響を及ぼしているかが注目されている。そこで本研究では、同海域の代表的な潜水性の海鳥であるハシブトウミガラスの採餌行動を複数年にわたり計測することで、海洋の水温構造の変化が高次捕食者の採餌生態にどう影響しているか明らかにすることを目的とした。温暖期と寒冷期をまたぐ 2004 年、2006 年、2007 年、2013 年、2014 年、2015 年の夏期、ベーリング海のセントジョージ島で、ハシブトウミガラスに小型加速度記録計を取り付け、それぞれ 12 個体、5 個体、4 個体、9 個体、12 個体、7 個体から行動記録を得た。加速度・深度温度記録を用いて、鳥のトリップ長と飛行時間、潜水深度、鳥の採餌エリアの表面水温(SST)、温度躍層の深度、強度(温度躍層上下の平均水温差)、深い深度(>40m)の平均水温を分析し(Kokubun et al. 2010)、さらに鳥の持ち帰った餌の種類を調べた。鳥の採餌エリアでの深い深度の水温を指標とすると、2015 年($6.5 \pm 0.9^\circ\text{C}$)、2004 年($5.4 \pm 0.8^\circ\text{C}$)、2014 年($4.9 \pm 1.0^\circ\text{C}$)、2006 年($4.5 \pm 1.0^\circ\text{C}$)、2013 年($3.7 \pm 0.9^\circ\text{C}$)、2007 年($2.4 \pm 1.2^\circ\text{C}$)の順で水温環境は温暖だった。鳥の採餌エリアで見られた温度躍層は、2007 年($6.0 \pm 1.5^\circ\text{C}$)、2014 年($5.4 \pm 1.4^\circ\text{C}$)、2013 年($4.9 \pm 1.4^\circ\text{C}$)、2004 年($4.3 \pm 1.2^\circ\text{C}$)、2015 年($3.7 \pm 0.9^\circ\text{C}$)、2006 年($3.6 \pm 1.2^\circ\text{C}$)の順に強かった。このような水温環境の違いに関連して、採餌行動にも違いが見られた。比較的溫度躍層の強い 3 年間(2007 年、2014 年、2015 年)には、鳥は溫度躍層のある海域を利用する割合が高かった(87-97%)一方、比較的溫度躍層の弱い年(2006 年、2015 年、2004 年)には溫度躍層のない海域も利用していた(11-28%)。どの年にも躍層付近に潜水深度のピークが見られたが(全潜水の 17-54%)、特に寒冷だった 2007 年には、50m 以深の深い深度にもう 1 つの潜水のピークが見られた(全潜水の 36%)。各年の鳥の繁殖成績は、

温度躍層の強さと正の相関をもち($r = 0.864$)、深い深度の水温と負の相関をもっていた($r = -0.819$)。この海域では、夏期に温度躍層付近にスケトウダラ 0 歳魚などの小さな魚が集まり、また寒冷な年には、深い深度でスケトウダラ 1 歳魚などのより大きな魚の加入が増える。夏期に温度躍層の強まる条件は、前冬期が寒冷で、海氷の生成と海水の沈み込みが多くなること、または夏期に海水面がよく温められることであり、そのような年にはハシブトウミガラスの餌となる小さな魚が温度躍層付近に集積して、鳥の採餌効率が高まっていたと考えられる。特に寒冷な年は、温度躍層付近の小さな魚に加えて、低温で動きの遅くなったより大きな魚を採ることができる点で、鳥の採餌にとって有利だった可能性がある。鳥の加速度記録から得られた水中でのばたきと水温環境の関連性に焦点を当てて解析を行い、今後この仮説をさらに検証する。

References

- Coyle, K. O., Eisner, L. B., Mueter, F.J., Pinchuk, A. I., Janout, M. A., Ciciel, K. D., Farley, E. V., and Andrews, A. G., Climate change in the southeastern Bering Sea: impacts on pollock stocks and implications for the oscillating control hypothesis, *Fish. Oceanogr.*, 20, 139-156, 2011.
- Kokubun, N., Takahashi, A., Ito, M., Matsumoto, K., Kitaysky, A. S., and Watanuki, Y., Annual variation in the foraging behaviour of thick-billed murres in relation to upper-ocean thermal structure around St. George Island, Bering Sea, *Aquat. Biol.* 8, 289-298, 2010.