

2008–2014年の西部北極海における動物プランクトン群集構造の水平および経年変化

松野孝平¹、山口 篤²、アウブリー シリル³、フォルティエ ルイス³、菊地 隆⁴
¹国立極地研究所、²北海道大学大学院水産科学院、³ラバル大学、⁴海洋開発研究機構

Spatial and inter-annual changes in zooplankton community structure in the western Arctic Ocean during summers of 2008–2014

Kohei Matsuno¹, Atsushi Yamaguchi², Cyril Aubry³, Louis Fortier³, Takashi Kikuchi⁴

¹National Institute of Polar Research, ²Hokkaido University, Graduate School of Fisheries Sciences, ³Québec-Océan, Université Laval, ⁴JAMSTEC

Recently, drastic sea-ice reduction has been reported in the Arctic Ocean during summer. Both sea ice reduction and climate changes are expected to have great effects on zooplankton community, however little information is available on these issues. This study evaluated horizontal and interannual changes of zooplankton abundance, biomass and species diversity in the western Arctic Ocean during summers of 2008, 2010, 2012, 2013 and 2014, and what environmental factors control zooplankton community in this region.

Zooplankton samples were collected by vertical hauls of NORPAC net (mouth diameter 45 cm, mesh size 0.33 mm) from 5 m above the bottom to the surface at 22–63 stations in the western Arctic Ocean during 29 August–13 October of 2008, 2010, 2012, 2013 and 2014. At each station, temperature and salinity were measured by CTD casts. Based on water samples, chlorophyll *a* (Chl. *a*) was measured. Zooplankton samples were immediately preserved with 5% buffered formalin. In the land laboratory, wet mass (g WM) of the samples were measured, and enumeration and identification (calanoid copepods to species and copepodid stage level) were made under a stereomicroscope. Based on zooplankton abundance, cluster analyses (Bray-Curtis connected with UPGMA) were made. Variability in environmental parameters (temperature, salinity and Chl. *a*) and zooplankton parameters (abundance, biomass and species diversity) were compared with sampling years, Julian day and latitude by three-way ANOVA. To evaluate what environmental parameters govern the zooplankton abundance, biomass and species diversity, Structural Equation Modeling (SEM) analyses were made.

Through the sampling period, zooplankton abundance was ranged between 2919–274021 ind. m⁻², and was greater in the shelf region. Zooplankton biomass ranged 2.8–263 g WM m⁻², and showed similar distribution with abundance. Copepod species diversity was high around Bering Strait, slope and basin regions, while low in the northern shelf. From cluster analysis, four zooplankton groups (groups A–D) were identified, and their horizontal distributions were corresponded with bottom topography. Zooplankton abundance and species diversity varied significantly with the sampling years and latitude. SEM analysis (Figure) revealed that zooplankton abundance had positive correlations with salinity and Chl. *a*, and negative correlations with years, depth and latitude. Zooplankton biomass had a strong positive correlation with Chl. *a*, and a negative correlation with Julian day. Copepod species diversity had positive correlations with depth, temperature and salinity, and a negative correlation with Julian day. These results suggest that the effects of environmental parameters were varied with zooplankton abundance, biomass and species diversity. From above results, following simple conclusion is derived. Thus, sea-ice reduction (= temperature increase) in the Arctic Ocean during summer may induce increase of species diversity because of the increase of the Pacific species transported to the Chukchi Sea by increases of the warm Pacific water.

近年、夏季の北極海では海氷面積の著しい減少が報告されており、海氷面積の減少は海洋生態系に大きな影響を及ぼすと考えられている。海氷融解のみならず、気候変動を始めとする海洋環境の変化によって、当海域の動物プランクトン群集には水平および経年変化があると考えられるが、その詳細は未だ不明である。本研究は、2008、2010、2012、2013および2014年夏季の西部北極海における動物プランクトン出現個体数、バイオマスおよび種多様度の水平および経年変動を明らかにし、各パラメーターを規制する要因を明らかにすることを目的としている。

2008、2010、2012、2013および2014年の8月29日–10月13日に西部北極海の各年22–63観測点（計226点）において、NORPACネット（口径45cm、目合い0.33 mm）による水深150 mまたは海底直上5 mから海面までの鉛直曳き採集を行った。採集と同時にCTDにより水温と塩分を、採水試料に基づいてクロロフィル*a* (Chl. *a*) を測定した。動物プランクトン試料は船上にて5%中性ホルマリン海水に固定し持ち帰り、湿重量測定後、実体顕微鏡下にて分類群（カラス目カイアシ類は種および発育段階）毎に計数した。カイアシ類についてはShannonの種多様度を算出した。動物プランクトン出現個体数データは対数変換した後に、Bray-Curtisと平均連結法によるクラスター解析を行った。環境パラメーター（積算平均水温、積算平均塩分および積算Chl. *a*）と動物プランクトンパラメーター（出現個体数、バイオマスおよびカイアシ類種多様度）が採集年、採集日および緯度により異なるかを評価するためにthree-way

ANOVAを行った。さらに、動物プランクトン個体数、バイオマスおよび種多様度の変動要因を明らかにするために、環境パラメーターとの間で共分散構造分析 (Structural Equation Model, SEM) を行った。

調査期間を通して、夏季の西部北極海における動物プランクトン出現個体数は2919–274021 ind. m⁻²の範囲にあり、いずれの年も陸棚域で高く、海盆域で低かった。バイオマスは2.8–263 g WM m⁻²の範囲にあり、出現個体数と同様の水平分布を示した。カイアシ類種多様度は、ベーリング海峡付近、斜面域および海盆域では高く、陸棚域北部で低かった。全動物プランクトン出現個体数に基づいてクラスター解析を行ったところ、動物プランクトン群集は大きく4つのグループに分けられた。各グループの水平分布は水深と対応していた。動物プランクトン出現個体数およびカイアシ類の種多様度は、採集年と緯度間で有意に異なっていた。SEM解析の結果、動物プランクトン出現個体数は塩分とChl. aと正の関係があり、採集年、水深および緯度と負の関係があった (Figure)。一方、バイオマスはChl. aと強い正の関係があり、採集日と負の関係があった。カイアシ類の種多様度は、水深、水温および塩分と正の関係があり、採集日と負の関係があった。このように、動物プランクトン出現個体数、バイオマスおよび種多様度それぞれに環境パラメーターが及ぼす影響は異なっていた。夏季の北極海で近年著しい海氷面積の減少 (=水温の上昇) がもたらすのは、直接的には高水温な太平洋水流入量の増加による、太平洋産種が増加することによるカイアシ類種多様度の上昇であると考えられる。

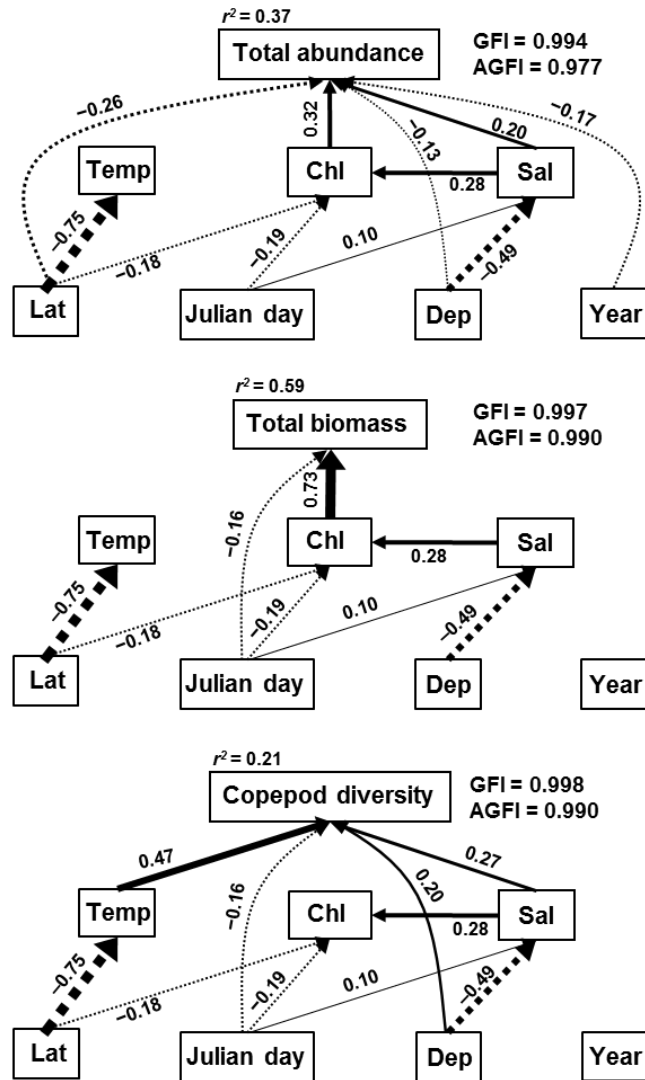


Figure. Results of structural equation model (SEM) for zooplankton abundance, biomass and copepod diversity with environmental factors. Values along the pathways represent standardized path coefficients. Arrows with solid or dashed lines indicate positive or negative effects. The overall fit of the model was evaluated using the goodness-of-fit index (GFI) and the adjunct goodness-of-fit index (AGFI). Lat: latitude, Dep: bottom depth, Temp: integrated mean temperature, Sal: integrated mean salinity, Chl: standing stock of chlorophyll.