

西部北太平洋における動物プランクトン窒素・炭素安定同位体比の 空間（海域、深度、緯度）およびサイズによる変化

海洋生態系において動物プランクトンは、植物プランクトンによる生産物やエネルギーを高次生物へと仲介する、水産学的に重要な役割を担うと共に、鉛直的な物質輸送量に影響を及ぼす、生物海洋学的にも重要な役割を持っている。これら海洋低次食段階内における被食-捕食関係を明らかにする方法として、消化管内容物の解析や摂餌実験などがあるが、いずれも多大な手間や労力、技術が必要で、かつ得られた知見を、対象生物種以外へのあてはめには議論がある。これら各種生物の栄養段階指標となるのが、安定同位体比である。プランクトンを対象とする安定同位体比として広く用いられているのが $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ の2つで、 $\delta^{15}\text{N}$ は栄養段階の指標となり、 $\delta^{13}\text{C}$ は海域差の指標となるとされている。本研究は、西部北太平洋における動物プランクトンを主とする生物群集の窒素・炭素安定同位体比の空間変動パターンを明らかにするため、以下の3つの観察を行った。すなわち、①海域による変化（亜寒帯と移行領域の比較）、②海表面から水深3000 mまでの鉛直的な変化、③動物プランクトンサイズクラス及び緯度による変化、である。

2016年5月14日-20日にかけて、西部北太平洋の155°E線に沿った37°15'N~44°00'Nの南北トランセクトの6定点において、水深0-150 m間を対象として、動物プランクトン、魚類および頭足類を採集した。2017年10月19日-11月7日にかけて、西部北太平洋外洋域の亜熱帯から亜寒帯にかけて設けた南北トランセクト(29°00'N-42°40'N, 145°45'E-149°40'E)に沿った5定点において、目合い63 μm のVMPSにより、水深0-3000 m間を12層に分けた鉛直区分採集を行った。またトランセクトに沿った8定点において、目合い100 μm のNORPAC ネットによる、水深0-200 m間の鉛直曳き採集を行った。VMPS試料は全量を、NORPAC ネット試料は925 μm 、407 μm 、112 μm の3連のふるいでサイズ区分を行い、いずれの試料も-20°Cで凍結保存した。各定点においてCTDによる水温、塩分の測定を行い、水塊分けを行った。陸上実験室にて生物試料は凍結乾燥した後に、乳棒と乳鉢を用いて粉末化した後、容量比2:1のクロロホルム・メタノール溶液を用いて脱脂処理を行った。脱脂処理を行った粉末サンプルをそれぞれスズ箔に入れ、ガスクロマトグラフ質量分析計によって炭素と窒素の安定同位体を測定した。炭素及び窒素安定同位体比は、 $\delta^{15}\text{N}$ (^{15}N : ^{14}N)および $\delta^{13}\text{C}$ (^{13}C : ^{12}C)の標準物質とのズレ(‰)により表現した。窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$)に与える各種要因($\delta^{13}\text{C}$ 、海域、水深および動物プランクトンサイズ)の影響を明らかにするために、 $\delta^{15}\text{N}$ を目的変数(Y)とする散布図を作成し、海域、水深および動物プランクトンサイズ毎の回帰式の差異を共分散分析(ANCOVA)により評価した。

水温・塩分に基づくT-Sダイアグラムにより、155°E線航海では北方の3定点が亜寒帯域、南方の3定点が移行領域に位置することが明らかになった。亜寒帯域および移行領域、両海域内において、 $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ の間には線形回帰式が見られた($r^2=0.65-0.76$, $p<0.0001$)。亜

寒帯域と移行領域における $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ 間の線形回帰式について ANCOVA を行ったところ、海域 $\times\delta^{13}\text{C}$ の交互作用が極めて有意に見られた ($p<0.0001$)。これは両海域における回帰式が互いに異なることを示している。

亜寒帯、移行領域および黒潮域に位置する 5 つの定点における水深 3000 m までの安定同位体比の鉛直分布を見たところ、 $\delta^{13}\text{C}$ に深度増加に伴う変化は、いずれの定点においても見られなかった。一方 $\delta^{15}\text{N}$ には、海表面近くにおいて低い値で、深度が増すにつれて高い値を示す傾向が、低緯度の 3 定点 (29°, 31° および 33°N) において見られ、線形式にて表現することが出来た。この $\delta^{15}\text{N}$ の深度増加に伴う鉛直変化は低緯度ほど顕著で (29°N: $r^2=0.698$, $p<0.0001$)、3 定点のうち、最も高緯度では両者の関係は緩やかで (33°N: $r^2=0.495$, $p<0.05$)、中間の定点では両者の中間であった (31°N: $r^2=0.668$, $p<0.01$)。また 37°N と 41°N では、水深と $\delta^{15}\text{N}$ の間に有意な関係は見られず、特に 41°N では表層から水深 3000 m までほとんど変化が無かった。 $\delta^{15}\text{N}$ の 3 定点に見られた線形回帰式について ANCOVA を行ったところ、緯度による変化はあるものの ($p<0.05$)、緯度 \times 水深の交互作用は見られなかった。これは回帰式の $\delta^{15}\text{N}$ 切片 (表層の値) には緯度による差はあるものの、深度増加に伴う回帰式の傾きには緯度による差は無いことを示している。

亜寒帯、移行領域および黒潮域に位置する 8 つの定点において、水深 0-200 m 間より採集された動物プランクトン試料を 3 つのサイズクラスで分画した際の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の緯度変化を見たところ、 $\delta^{13}\text{C}$ には 3 つのサイズクラス全てに緯度による変化は見られなかった。一方 $\delta^{15}\text{N}$ には、3 つのサイズクラス全てを通して、緯度が増すにつれて $\delta^{15}\text{N}$ が高くなる、有意な関係が見られ、両者の間には線形式が存在した ($r^2=0.787-0.826$, $p<0.001$)。これらの回帰式は、3 つのサイズクラスのうち、最も小型なサイズクラス (112 μm) の回帰式の $\delta^{15}\text{N}$ が最も低く、最も大型なサイズクラス (925 μm) の回帰式の $\delta^{15}\text{N}$ は最も高く、中間のサイズクラス (407 μm) の回帰式は、両サイズクラスの間に見られた。3 つのサイズクラスに見られた $\delta^{15}\text{N}$ と緯度に関する回帰式について ANCOVA を行ったところ、サイズやサイズ \times 緯度の交互作用に有意差は無かった。このことは、3 つのサイズクラスに関する回帰式は、同一として扱って良いことを示している。

本研究により、西部北太平洋における動物プランクトンを主対象とする $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ 間の回帰式には海域による差があり、深度増加に伴う鉛直変化は亜熱帯域 (黒潮域) における $\delta^{15}\text{N}$ にのみ見られ、サイズによる変化は見られず、 $\delta^{15}\text{N}$ は高緯度ほど高くなることが明らかになった。深度増加に伴う鉛直変化が亜寒帯域で見られなかったのは、亜寒帯域においてバイオマスに優占する大型カイアシ類 (*Neocalanus* 属) は生活史の中で発育に伴う鉛直移動を行うため、表層と深海の差が無かったと解釈することが出来る。サイズ分画による差が緯度による差より小さかったことは、動物プランクトン内の安定同位体比の差は、緯度による差に比べて小さいことの反映であると考えられる。

外間京佳