

西部北太平洋亜寒帯循環域における浮遊性端脚類の群集構造、鉛直分布および優占種の個体群構造の季節変化: 画像イメージング手法による解析の有用性に関する研究

浮遊性端脚類は、世界中の海洋の表層から深海まで様々な深度に分布している。浮遊性端脚類には、様々な生態と食性を持つ種が含まれ、ゼラチン質動物プランクトンに付着して生活する種、植食性種および肉食性種など幅広い生態や食性が報告されている。西部北太平洋亜寒帯域に位置する親潮域でも、*Themisto pacifica* や *T. japonica*、*Primno abyssalis* および *Cyphocaris challengerii* の生態に関する研究が行われている。個々の優占種の生理生態についての知見は充実しているが、浮遊性端脚類の群集構造に関する知見や、数的に少ない種の生態に関する知見は乏しいのが現状である。端脚類の群集構造や優占種の個体群動態を明らかにする上で、種同定や体サイズの測定が必要となるが、端脚類は身体が屈曲しているため、顕微鏡下での観察では、その体長測定には多大な手間と労力が必要になり、その重要性に比べて知見は乏しいのが現状である。体長測定を短時間かつ正確に行いうる計測手法として、画像解析が挙げられる。2000年代に開発された ZooScan は、動物プランクトン粒子ごとにサイズだけでなく、画像データにより分類群（または種）も同時に同定することができる機器であり、その有用性が実証され、現在は様々な海域での応用が進められている。しかし、浮遊性端脚類の群集構造解析や主要種の個体群構造解析に ZooScan を用いた例はこれまで無いのが現状である。本研究は西部北太平洋亜寒帯循環域に設けた 1 定点において、周年をカバーする年 4 回、水深 0–1000 m 間を昼夜鉛直区分採集された試料に出現した浮遊性端脚類について、ZooScan を用いた画像解析を行い、出現個体数、群集構造、優占種 *T. pacifica* の個体群構造を明らかにした。また端脚類各種について安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) 解析を行い、食性に関する考察も行った。

2010 年 10 月 29 日、2011 年 2 月 26 日、4 月 22–23 日および 7 月 3–4 日に、西部北太平洋亜寒帯域の St. K2 (47°N, 160°E, 水深 5230 m) において、目合い 335 μm 、開口面積 1.5 m^2 の多段開閉式ネットシステム IONESS を用いた水深 0–1000 m 間を 8 層に分けた、昼夜の鉛直区分斜行曳き採集を行った。採集試料は船上で、終濃度 4% の中性ホルマリン海水で固定した。各採集日には、環境データとして水温、塩分、溶存酸素濃度を CTD により計測した。陸上実験室にて、動物プランクトン試料の多寡に応じて 1/2–1/64 に分割した副試料から浮遊性端脚類をソートし、ZooScan による測定を行った。スキャンにより取得した画像から、種同定と各個体の等価粒径 (ESD: Equivalent Spherical Diameter, μm) データを取得した。また、最優占種の *Themisto pacifica* については 5 つの発育段階 (若齢個体、未成熟雌・雄、成熟雌・雄) も同定した。各試料に関する分割率と濾水量データより、種毎の出現個体数密度 (ind. m^{-3}) と、ESD に基づくバイオボリューム ($\text{mm}^3 \text{ m}^{-3}$) を求めた。群集構造として Shannon-weaver 多様度指数 (H') を求めた。また出現個体数密度データに基づく、Bray-Curtis 法と完全連結法によるクラスター解析を行った。さらに非計量多次元尺度法により 2 次元図にプロットし、環境要因との関係を重回帰分析した。各種の鉛直分布の指標として 50% 分布水深 ($D_{50\%}$) を算出し、日周鉛直移動 (DVM) の有無は Kolmogorov-Smirnov test により評価した。試料中より浮遊性端脚類を種毎にソートし脱塩後、粉末乾燥試料にして元素分析を行い、窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) を求めた。 $\delta^{15}\text{N}$ の種間差は、one-way ANOVA と Tukey-Kramer test によって評価した。最優占種の *T. pacifica* については、ESD に基づくヒストグラムを作成し、コホート解析を行った。

周年を通して、浮遊性端脚類は 8 科 10 属 10 種が出現した。最も出現個体数密度の多かった種は *T. pacifica* (年平均: 6801 ind. 1000 m⁻³) であり、全浮遊性端脚類出現個体数の 92.6% を占めて卓越していた。バイオボリュームにおいても *T. pacifica* (48.5 mm³ m⁻³) は優占していた。各採集層における浮遊性端脚類の出現個体数密度は、4–17057 ind. 1000 m⁻³ の間にあり、バイオボリュームは 0.1–130 mm³ m⁻³ の間にあった。クラスター解析により、浮遊性端脚類群集は非類似度 68% において 4 つの群集 (A–D) に分けられた。群集 A は出現個体数が最も多く、*T. pacifica* が 95% 以上を占める卓越種であった。群集 B と C の出現個体数は少なく、群集 B では *T. pacifica* と *Primno abyssalis* が優占し、群集 C では *P. abyssalis* と *Scina borealis* が優占していたが、*T. pacifica* が出現しないことにより特徴づけられた。群集 D は最も出現個体数が少なく、優占種は *Koroga megalops*、*Rhachotropis natator* および *S. borealis* であった。各群集は鉛直的また昼夜により異なり、群集 A は昼間の表層から水深 300 m までと夜間の表層において見られ、群集 D は水深 500–1000 m の深い層に見られ、群集 B と C は夜間の水深 100–500 m に見られた。種多様度は全ての季節また昼夜を通して、水深 300–500 m において最も高かった。これらのことは、当海域における浮遊性端脚類群集は、卓越種である *T. pacifica* の動態に大きな影響を受けており、DVM を行う *T. pacifica* が深海にも分布する昼間には群集 A が深海にまで拡がり、端脚類群集は群集 A と深海性の群集 D の大きな 2 群集のみであると解釈できる。一方、夜間には *T. pacifica* は表層に移動するため、*T. pacifica* が少なくなった水深 100–500 m には群集 B や C が見られ、鉛直的に群集は浅-深の順に、A – (B or C) – D という層状構造をなしていた。種多様度は、表層性種と深海性種がともに出現する水深 300–500 m において高くなると解釈できる。

浮遊性端脚類 10 種の鉛直分布は大きく 3 タイプに分けられた。すなわち①表層に分布し、日周鉛直移動を行う優占 3 種 (*T. pacifica*, *P. abyssalis*, *C. challengerii*)、②深海にのみ分布し、日周鉛直移動を行わない 4 種 (*K. megalops*, *C. scleroticus*, *R. natator*, *E. multicalceola*)、③両者の中間に分布し、分布水深範囲は狭く、表層や深海には出現しないものの、両者の中間の狭い水深範囲内に分布し、DVM が見られることもある 3 種 (*S. borealis*, *V. caeca*, *H. galba*) であった。このうち③に属する 3 種は全て、ゼラチン質動物プランクトン生物に付着する生態が報告されている種である点が特徴的であった。St. K2 における浮遊性端脚類各種の $\delta^{15}\text{N}$ は 6.8–14.0‰ の範囲にあり、端脚類の $\delta^{15}\text{N}$ は、分布深度の深い種ほど高い傾向が見られ、各種の夜間の $D_{50\%}$ 水深との間には、有意な関係が検出された ($r^2 = 0.542$, $p < 0.0001$)。本研究で見られたような水深増加に伴い $\delta^{15}\text{N}$ が高くなる傾向は、地中海やアラビア海にて報告されており、海表面の 2‰ ぐらいの値が、水深 4000 m では 12‰ ぐらいになるまで上昇し、これは表層起源の有機物が、複数回の食う-食われるの関係を経て、深海に到達することの反映と考えられている。今回の端脚類で見られた水深増加に伴う $\delta^{15}\text{N}$ の上昇も、深海では複数回の被食-捕食関係を経た有機物を餌としていることの反映と考えられる。本研究では優占種 *T. pacifica* には、画像データから 5 つの発育段階の同定が可能であり、ESD に基づくヒストグラムからのコホート解析も可能であった。優占種の *T. pacifica* には、小型な若齢個体の個体群への加入は 10 月と 4 月の年 2 回見られ、各個体群の成長は 9 ヶ月 (10 月–7 月) ないしは 1 年 (4 月–4 月) にわたりトレースできた。本研究は主要動物プランクトンの個体群構造解析に ZooScan 等の画像解析の有用性を示した例であり、ZooScan を用いた画像解析による個体群構造解析は今後使いうる、有用な解析手段であると考えられる。

谷口諒