

修士論文内容の要旨

ふりがな	さとう なお	
氏名	佐藤 直	
専攻名	海洋生物資源科学専攻	
入学年度	平成 31 年 4 月	
指導教員名	主査 和田 哲 教授	副査 山口 篤 准教授 副査 松野孝平 助教
論文題目	有殻翼足類 <i>Limacina helicina</i> の生態分布および殻成長に関する研究	

亜寒帯域や極域に分布する有殻翼足類の一種である *Limacina helicina* は、局所的な高密度分布を形成することが知られており、食物網や炭素循環に大きく貢献する。本種の分布域の南限にあたるオホーツク海紋別沿岸では、出現報告はあるものの、季節変動や環境要因との関係は詳しく分かっていない。また、本種はアラゴナイトの殻を持つため、海洋酸性化による殻形成への悪影響が懸念されている。しかし、極域での本種の鉛直微細分布や成長速度などの生態に関する知見が乏しいため、環境変動や酸性化の影響を正しく理解することは困難である。本研究は *L. helicina* を対象種として、1) 紋別市オホーツクタワーにおける長期モニタリング試料に基づく季節および経年変動の要因の解明、2) 秋季北極海における鉛直微細分布の評価、3) 殻中 Sr/Ca 比に基づく経験水温の復元と成長速度の推定の 3 項目を目的として行った。

1. 紋別市オホーツクタワーにおける *Limacina helicina* の季節および経年変動

調査は、1997 年 4 月から 2008 年 12 月にかけてほぼ毎日、および 2018 年 1 月から 12 月に毎週 1 回の頻度で、紋別港第 3 防波堤の先端（海岸線から約 1 km 沖）に位置する氷海展望塔オホーツクタワー（水深約 9.5 m）と防波堤をつなぐ渡海橋上で行った。試料は、NORPAC ネット（口径 45 cm, 目合い 335 μ m）を用いて、水深 0–8 m の鉛直曳き採集により得た。採集された試料は 5% 中性ホルマリンで固定し、*L. helicina* および捕食者である *Clione elegantissima* の計数を行った。また、水温と塩分を CTD にて測定した。その他の環境データとして、紋別における気象データ（気温、最大風速および風向）を気象庁 HP (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>) より取得した。本種の個体数と環境要因との関係は、一般化加法モデル (GAM) を用いて解析した。

本種の出現個体数は夏季 (5–7 月) および冬季 (11–12 月) にそれぞれピークを示した。個体数の多かった 2 つの季節それぞれで GAM を行ったところ、夏季の出現個体数は水温および塩分と有意な関係が認められ、水温 10–16 $^{\circ}$ C, 塩分 33 以下で多くなる傾向が示され、オホーツク表層水との強い関係が示唆された。冬季の出現個体数は水温、塩分および最大風速と有意な関係が認められ、水温 3–10 $^{\circ}$ C, 塩分 32 以下および最大風速約 5 m 以下で多くなる傾向が示され、東サハリン海流との強い関係が示唆され

た。また、*C. elegantissima* による高い捕食圧により、1-5 月には *L. helicina* の個体数増加が制限されていたことが示唆された。

2. 秋季北極海における *Limacina helicina* の鉛直微細分布

JAMSTEC みらい北極航海 MR19-03C の途上、2019 年 10 月 21-28 日に北極海海盆域および陸棚域の 4 観測点で合計 6 回の調査を行った。本種はバケツ及びニスキン採水器を用いた 7 層 (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 m) の鉛直区分採水により得た。採水量はバケツでは約 20 L であり、ニスキン採水器では 12 L である。採水後、船上実験室にて海水をメッシュ (63 μm) でろ濾し、メッシュ上に残った個体を実体顕微鏡下で計数し、殻径を計測した。採水と同時に水温、塩分および蛍光値を CTD にて測定した。また採水試料は、船上実験室において DIC-TA 測定装置を使用し、溶存無機炭素 (DIC) および全アルカリ度 (TA) を測定したのちに、それらのパラメータを用いてアラゴナイト飽和度 (Ω_{Ar}) 計算した。

陸棚域の St. 54 を除いた観測点において、水深約 20-30 m から海表面にかけて海水融解水による混合層があり、その下に強固な塩分躍層が確認された。St. 54 を除いて、表層 0-30 m に本種のベリジャー幼生および幼体の分布が集中していた。ベリジャー幼生が多数確認されたことから、調査時期の前に活発に産卵が行われていたことが示唆された。また、本種のベリジャー幼生および幼体は海水融解水由来の塩分 30 未満の低塩分水中でも生息でき、強固な塩分躍層が本種の鉛直分布を強く規制している可能性が示唆された。酸性化の影響については、本調査時には Ω_{Ar} 未飽和な海水は見られず、ダメージを受けている殻も見られなかった。

3. *Limacina helicina* の殻中 Sr/Ca 比に基づく経験水温の復元と成長速度の推定

本研究で用いた試料は、2019 年 6 月 26, 27 日、2020 年 2 月 27 日に紋別沖において、2019 年 12 月 16 日に氷海展望塔オホーツクタワーと防波堤をつなぐ渡海橋上において採集された。採集した個体は脱塩後にエタノール 99.5% で固定した。陸上実験室において、個体はスライドグラス上に耐圧防水樹脂ジェラフィンを用いて固定し、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置 (LA-ICP-MS) を用いて、殻の Sr/Ca 比を測定した。殻口部の Sr/Ca 比と採集時の現場水温を用いて、Sr/Ca 比-水温関係式を作成し、個体が経験した過去の水温を推定した。その後、紋別沖リアルタイム水温観測ブイおよびオホーツクタワーで観測された過去の水温の変動と比較を行い、成長速度の推定を行った。

本研究では、アラゴナイト殻の Sr/Ca 比から経験水温を明らかにする手法を初めて本種に適用し、個体が過去に経験してきた水温を復元することができた。個体の経験水温履歴からは、成長速度の体サイズ依存性が異なることや、低水温の時に成長速度が遅くなることが示された。採集地点近傍の定点で測定された水温と個体の殻から推定された経験水温を長期間比較することは困難であったが、夏季に採集されたベリジャー幼生については妥当な成長速度を求めることができた。

本研究により、オホーツク海紋別沿岸における *L. helicina* の個体数変動や北極海における鉛直分布が明らかになった。今後も現場でのモニタリングを続けることで、将来の環境変動下での本種の影響評価に貢献すると考える。また、Sr/Ca 比解析により個体の経験水温を推定することができ、限定的ではありながらも、飼育実験を行わずに本種の成長速度の推定が可能であることが示された。今後、粒子トラッキング解析を用いて、本種の移送経路およびその現場水温を対応させることで、現場海域における本種のより詳細な生活史の解明につながると期待される。