

論文の内容の要旨

水圏生物科学専攻

平成 23 年度博士課程進学

氏名 藤岡秀文

指導教員名 津田敦

論文題目 西部北太平洋亜寒帯域における *Neocalanus* 属カイアシ類 3 種の
生活史に関する研究

北太平洋亜寒帯域には 3 種の *Neocalanus* 属カイアシ類 *N. cristatus*、*N. flemingeri*、*N. plumchrus* が生息し、生態系の一次・二次消費者として物質循環を駆動する重要な動物プランクトンと考えられている。3 種は成長に伴う季節的な鉛直移動 (OVM) を行い、生活史には共通した季節性が認められている。雌成体は秋季から春季に深層で産卵を行い、孵化したノープリウス幼生は表層に移動し、コペポダイト期へと成長する。コペポダイト期は夏季から秋季まで表層に分布した後、再び深層へと移動し、成体へと成長する。表層に出現する時期や、分布期間には種ごとに差異が認められ、3 種は異なる生存戦略を持ち同所的に生息していると考えられている。OVM を行うカイアシ類は、深層に生息する期間、表層とは異なる被食、捕食環境及び光環境に適応した生存戦略を持っている可能性が高い。しかし、表層に比べて、深層の生態学的研究は少なく、深層における *Neocalanus* 属 3 種の生存戦略は不明である。特にノープリウス幼生期は、形態情報を用いた種同定が困難であるため、生活史が解明されていない。本研究は、形態情報に頼らない *Neocalanus* 属カイアシ類ノープリウス幼生の同定方法を確立し、西部北太平洋亜寒帯域の親潮域に生息する

Neocalanus 属 3 種ノープリウス期の生活史を解明する。さらに、深層移動期間における 3 種のコペポダイト期を対象とし、光環境と密接に関係したカイアシ類の生存戦略である体色変化を研究し、深層環境における 3 種の生存戦略を明らかにする。

第 2 章では、効率的なノープリウス幼生の分類を行うため、real-time PCR を用いた *Neocalanus* 属 3 種のノープリウス幼生同定方法を確立し、同定精度の検証を行った。動物プランクトン試料は、西部北太平洋親潮域より 2009 年の 10 月、2010 年の 1 月、3 月、4 月、5 月に 0~2000 m の 8 層から層別に採集した。試料からカラヌス目カイアシ類のノープリウス幼生を選別し、各成長段階に分類した後、各個体から DNA を抽出し分析試料とした。Real-time PCR による種同定には、目的種ミトコンドリア DNA の COI 領域を特異的に増幅するプローブとプライマーセットを作成し、分析に使用した。また、real-time PCR の分析値 (C_q 値)は抽出試料の DNA 濃度によって変化するため、DNA 濃度と C_q 値の関係式 (判別式)を作成し、判別式からの偏差 $|\Delta C_q|$ 値を求め、種同定の指標とした。

Real-time PCR 分析と、シーケンスによる検証の結果、 $|\Delta C_q|$ 値 2 以下を示したノープリウス幼生は全て各目的種であり、 $|\Delta C_q|$ 値 2 以下を同定の基準とすることで、個体数で 88%以上の各目的種ノープリウス幼生のみを同定できることが分かった。この結果から、本研究の real-time PCR を用いた種同定方法は、 $|\Delta C_q|$ 値 2 以下を同定基準とした。

第 3 章では、第 2 章で確立した種同定方法を使用し、親潮域で採集した試料を用いて *Neocalanus* 属 3 種ノープリウス幼生の種同定を行い、出現時期や分布深度を明らかにした。また、得られたデータから、親潮域における 3 種の初期生活史を考察した。第 2 章で使用した動物プランクトン試料を用いて、*Neocalanus* 属 3 種のノープリウス幼生を分類、計数した。また、試料中の 3 種の雌成体を産卵前 (pre-spent) と後 (spent) の成熟段階に分類、計数した。得られた結果から、各採集層における個体数密度 (ind. m^{-2}) を求め、各成長段階、成熟段階の分布深度中心値 (D50%) 及び鉛直的な分布範囲 (D10%~D90%) を算出した。

Neocalanus cristatus では、雌成体とノープリウス幼生が、採集を行った全ての月から出現した。Pre-spent 雌成体とノープリウス I 期幼生 (N1)、ノープリウス II 期幼生 (N2) の個体数密度は 10 月が最も高く、1 月には大きく減少した。また、10 月に出現した *N. cristatus* ノープリウス幼生の 60%以上が N3 だったことから、10 月以前に産卵ピークが存

在した可能性が示唆された。雌成体は 500 m 以深から出現し、ノープリウス幼生は全ての成長段階が 200 m 以深から出現した。*Neocalanus cristatus* のノープリウス幼生は、表層に比べ光が弱く、視覚捕食者の探餌能力が低下する 200 m 以深に分布することで被食リスクを低下させていると考えられる。成長段階が進むにつれてノープリウス幼生の D50%は浅化し、N5 と N6 のみが 200~500 m から出現した。これらの結果から、産卵は 500 m 以深で行われ、ノープリウス幼生は成長に伴い 200 m まで鉛直移動すると考えられた。

Neocalanus flemingeri ノープリウス幼生は、全ての成長段階が 10 月から翌年の 3 月に出現した。N1 の個体数密度は 1 月が最も高く、3 月には減少した。また、3 月には、spent 雌成体や N5~6 が増加しており、産卵期間は 10 月から翌年の 3 月にわたるが、ピークは 1~2 月だと示唆された。ノープリウス幼生は、200 m 以深に分布する雌成体より上層から出現した。N1~6 の D50%を比較した結果、有意な差異が認められ (one-way ANOVA $p < 0.001$)、後期幼生 (N4~6) は N1、N2 に比べ浅い深度から出現した (Tukey-Kramer test, $p < 0.02$)。これらの結果から、*N. flemingeri* の産卵は 200 m 以深で行われ、卵または N1~2 が孵化深度から上層へ移動した後、N3 に 2 回目の鉛直移動を行い、後期の成長段階へ成長すると考えられた。*Neocalanus flemingeri* ノープリウス幼生は 200 m 以浅に分布するため、*N. cristatus* に比べて被食リスクが高い可能性がある。しかし、*N. flemingeri* ノープリウス幼生は、大規模な鉛直移動を行わずに、表層で増殖する植物プランクトンなどの生産物を摂餌し、コペポダイト期へ成長することが出来る。本研究の結果、*N. plumchrus* ノープリウス幼生は、3~4 月に表層に出現することが判明し (後述)、*N. flemingeri* ノープリウス幼生は *N. plumchrus* より先にコペポダイト期へ成長することで、餌料や生息空間の競合を回避していると考えられる。

Neocalanus plumchrus は、採集を行った全ての月から pre-spent 雌成体と N1 または N2 が出現したので、産卵期間は 10 月から翌年の 5 月だと示唆された。産卵深度は、pre-spent 雌成体の出現深度から 500 m 以深だと考えられた。また、10 月と 1 月における N1 の D50%は pre-spent 雌成体とほぼ同深度の 1,260 m と 897m を示し、産卵深度の変化が示唆された。10 月から翌年の 3 月における N3 は、個体数密度が 5 倍以上に増加し、さらに、鉛直的な出現範囲の拡大が認められ、D25%~75%は 10 月に 1100~1730 m、3 月に

425~1573 m を示した。10 月から翌年 3 月における後期ノープリウス幼生 (N4~6) は、*N. plumchrus* ノープリウス幼生の 0~5% 以下の低い割合であった。しかし、4 月には 70% まで増加し、主に 0~20 m から出現した。これらの結果から *N. plumchrus* は N3 で成長を停滞させ、4 月に同期的に表層に移動し、後期の成長段階へ成長していると考えられた。*Neocalanus plumchrus* における N3 の成長停滞は、本種のみ認められる特徴であり、同期的なコペポダイト期出現のタイミングを調節している可能性がある。しかし、本研究結果のみでは、成長停滞のメカニズム解明には至らず、同期的な成長再開を促す直接的な誘因の特定はできなかった。

第 4 章では、*Neocalanus* 属カイアシ類における、鉛直移動と休眠に伴うコペポダイト期の体色変化について研究を行った。動物プランクトン試料は親潮域より、2013 年の 5 月、7 月に、0~200 m、200~500 m、500~2000 m から層別に採集した。採集試料から *Neocalanus* 属コペポダイト 5 期 (C5) を選別し、前体部の画像を撮影した。また、*N. flemingeri* は雌成体で休眠するため、試料から雌成体も選別した。画像解析を行い、赤色面積率(%)と、休眠の指標となる油球面積率(%)を算出した。

解析の結果、分布深度による明瞭な体色変化が認められたのは *N. cristatus* C5 のみであり (Kruskal-Wallis test、 $p < 0.0001$)、500~2000 m から出現した個体の赤色面積率が、上層から出現した個体より有意に高かった (Steel-Dwass test、 $p < 0.0005$)。この結果から、*N. cristatus* C5 は 500 m 以深に移動した後、体色を半透明から赤色に変化させていると考えられた。また、*N. cristatus* C5 の油球面積率と赤色面積率には、強い正の相関関係が認められ (Spearman の順位相関、 $p < 0.0001$)、油球面積増加に伴い、赤色範囲が拡大したと示唆された。赤色は深層の光環境下において、視覚的捕食者に対する高い隠蔽効果があると考えられており、赤色化することで体内の油球を捕食者から隠蔽している可能性がある。

本研究の結果、*Neocalanus* 属カイアシ類 3 種のノープリウス幼生期における生活史と、深層移動に伴うコペポダイト期の体色変化を解明し、深層環境における 3 種の生存戦略を明らかにすることができた。3 種の初期生活史の差異は、コペポダイト期と同等か、それ以上に大きいことが明らかになった。また、明瞭な体色変化は、*N. cristatus* のみで認められ、3 種の生態学的な違いは、既存の報告より、さらに顕著だと判明した。