

学 位 論 文 題 名

Dynamics in zooplankton distribution and  
associated ecosystem interactions off the Pacific coast  
of eastern Hokkaido, Japan

(北海道東部太平洋沿岸域における動物プランクトンの分布変動と  
生態系相互作用に関する研究)

学位論文内容の要旨

北太平洋西側海域では西岸境界流の一つである親潮の影響下にあり、高い一次生産力を基盤とし、沿岸域を中心として、各種魚類、甲殻類、海鳥や大型海棲哺乳類を含む多様な生物相が形成されている。高次生物の餌生物として一次生産を各生物相へ連携する重要な役目を果たす各種動物プランクトンに関しては、沖合域において様々な研究が行われ、重要な生態学的知見も少なくない。北海道太平洋側沿岸域（以下道東海域）は *Euphausia pacifica* を主とするオキアミ類や *Neocalanus spp.*, *Metridia pacifica*, *Eucalanus bungii* を含む冷水性カイアシ類などの動物プランクトンの沖合からの移入により、スケトウダラ (*Theragra chalcogramma*) などの主要水産対象魚を含む魚類の索餌場として重要な海域となっている。道東海域は季節的に規模が変わる沖合の親潮分枝が進入するうえ、流氷由来の水や宗谷暖流水の影響により特性を変える大陸棚上の沿岸流が存在している。海洋環境季節変化にともなう餌生物の分布の季節的な空間変動とそれに伴う生物間の関係の変化が予想されるが、これについての知見は限られている。そこで本研究では、本研究では道東海域における主要動物プランクトンの分布とその季節・年変動を、海域全体を俯瞰しうる空間スケールで定量的にとらえ、高次生物の分布をプランクトン分布、捕食者の分布、生体エネルギー変数と比較し、潜在的相互作用を生態学的に分析することを目的とした。本海域の空間スケールに対応しうる動物プランクトン分布の定量化のため、2003 年、2004 年冬季、夏季、秋季の北海道区水産研究センターにより実施された計量魚群探知機による調査データを使用した。計量魚群探知機で採取された生物群反応から、地理情報システム (Geographic Information System: GIS) を使用して、地理統計学的な内挿手法で道東大陸棚上の動物プランクトン量を求めた。また、フィールドにおける採集サンプルの情報、計測結果、衛星データを GIS 上で統合して俯瞰し、各種統計解析を行った。

第 1 章においては、昼夜調査のデータを用いて動物プランクトンの水平・鉛直分布の変動と変動要因を計測された水温・塩分データと統合して生態学的に分析、議論した。また、昼夜の分布変動によるデータ解析への影響を考察し、定量的内挿モデルのパラメータを水平的な分布傾向として計算した。海表面で冬季より 1 次生産の高い夏季において、明らかな鉛直的な分布深度の変化が起こり、水温躍層の発達する秋季には動物プランクトンの夜間上昇が水温躍層周辺までに限定された。夏季の鉛直的な移動には表層における動物プランクトンの餌となる植物プランクトンの量が関係しており、さらに道東海域に進入する黒潮系の高温・高塩分の水塊の影響による秋季の鉛直移動の制限の可能性が示唆された。ま

た、これらの水塊依存の鉛直移動の効果により水平的な分布傾向が季節、昼夜を問わず大きく変化することが示唆された。

第2章においては動物プランクトンの水平密度分布を第1章で得られたパラメータを用いて、地理統計学的に内挿して俯瞰的に観察し、同時に各種動物プランクトンの生物量を推算した。また、得られた水平分布と生物量を海表面水温（SST）、海底水温、中層・海底塩分、海表面クロロフィル量と比較し、道東海域における季節的な海洋環境の変化による高次生物の索餌対象動物プランクトンの分布の変化の概念化を行った。道東海域の昼間の動物プランクトンの生物量が夏季から秋季にかけて大きくなること、また棚上の沿岸流の影響により冬季、秋季において分布位置が制限されることが示された。沖合い由来の親潮水の棚上への進入は道東海域における動物プランクトン量と分布に大きな影響を与え、各年・各季節の海洋環境のシナリオ別に高次生物の潜在的索餌場の規模や位置を変動させることが示唆された。

第3章では上記調査の計量魚群探知機による採取データから抽出したスケトウダラ当歳魚反応と、第1章、第2章で得られた動物プランクトンの両年の秋季の生物密度と内挿結果、トロールサンプルの結果からの捕食者群集の確率場、さらに SST と海底水温から計算したスケトウダラ当歳魚の成長効率を道東海域全体のスケール（海域スケール）で空間的に比較した。また、数十メートルの空間スケール（群集スケール）での生物間の有意な空間関係から、道東海域の生態系相互作用を考察した。2003 年と 2004 年の間でスケトウダラ当歳魚の分布に大きく変化が示された。海域スケールにおいて、動物プランクトンの密度の高い場所の周辺にスケトウダラ当歳魚の分布が対応していることが観察された。一方、両年の秋季において、群集スケールでの統計的な空間一致は有意ではなく、この空間スケールでは餌生物の分布がより高次の生物の集合を決定していないことが示唆された。成長効率は、スケトウダラ当歳魚分布と明瞭な正の対応と有意な空間関係を見せた。捕食者群集も当歳魚分布と正の空間関係を示した。これらの結果を過去の知見と合わせて解釈すると、スケトウダラ当歳魚は動物プランクトンの高密度域の周辺で必要十分な餌生物を得ながら、沿岸捕食者との遭遇率が高い一方で、越冬前の成長を促進し得る空間に分布したと考えられる。また沖合の親潮域にはスケトウダラ成魚が両年とも多く分布していた。これらを含む魚食性の大型魚が、沖合の親潮水の進入と動物プランクトンの移入にともない陸棚上に多く進入していたことも、当歳魚の潜在的な分布要因であると考えられる。秋季の道東陸棚上の当歳魚が、越冬を前に利益（動物プランクトン分布量）のバランスを取りつつ、成長の促進を基準として、陸棚上沿岸・沖合のリスク（被捕食）を選択していることが本章から考察された。

道東海域における動物プランクトン分布は親潮と沿岸流の影響を受けて大きく変動し、これにともない、より高次の生物の分布にも変化が起こることが本研究において示唆された。道東海域のボトムアップ効果は高次生物分布に対し複数の空間スケールにおいて影響する。海域全体のスケールでは陸棚上の索餌場の位置を変化させ、高次生物の分布を直接的に変える一方、生物群集単位の空間スケールでは高次生物同士の相互作用に影響を与え、間接的にこれらの分布の変化を起こす。本海域の親潮の進入・沿岸流の変動規模やタイミングによっては、動物プランクトンの分布は大きく変化し、高次生物の生残率や捕食圧に影響を与える可能性も考えられる。本研究において得られた結果は、生態系ベースの海洋資源活用とその管理の実践のために非常に有用な知見となる。本研究を基盤とした道東海域におけるボトムアップ効果による生態系の変動に関する経年的、発展した時空間的な解析を行うことにより、北太平洋西側海域における海洋生態系の保全と持続的な海洋資源の活用を両立する鍵となる情報を得ることができると期待される。

# 学位論文審査の要旨

主 査 准教授 宮 下 和 士

副 査 教 授 山 羽 悦 郎

副 査 教 授 仲 岡 雅 裕

副 査 教 授 桜 井 泰 憲 (大学院水産科学研究院)

副 査 部 長 西 村 明 (独立行政法人

水産総合研究センター北海道区水産研究所)

## 学 位 論 文 題 名

### Dynamics in zooplankton distribution and associated ecosystem interactions off the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan

(北海道東部太平洋沿岸域における動物プランクトンの分布変動と  
生態系相互作用に関する研究)

北海道太平洋側沿岸域(以下道東海域)は西岸境界流の一つである親潮の影響下にあり、高い一次生産力に特徴付けられる。Euphausia pacifica を主とするオキアミ類や冷水性カイアシ類などの動物プランクトンの沖合からの移入により、スケトウダラ(Theragra chalcogramma)などの主要水産対象魚を含む魚類の索餌場として重要な海域となっている。道東海域は季節的に規模が変わる沖合の親潮分枝が流入するうえ、特性を変える大陸棚上の沿岸流により、海洋環境の変化が大きい。これに伴い、餌生物分布の空間変動と、連動する生物間の関係の変化が予想されるが、知見は限られている。そこで本研究では、本海域における主要動物プランクトンの分布変動を定量的にとらえ、高次生物の分布を上記プランクトン分布を含む生態系要素と比較し、潜在的相互作用を分析することを目的とした。動物プランクトン分布の解析には2003年、2004年の北海道区水産研究センターにより実施された計量魚群探知機による調査データを使用した。抽出された生物群反応から、地理情報システム(Geographic Information System: GIS)を使用して、地理統計学的な内挿手法で本海域の動物プランクトン量を求めた。また、各種データをGIS上で統合して俯瞰し、各種統計解析を行った。

第1章においては、動物プランクトンの昼夜分布と変動要因を、計測された水温・塩分データと統合して分析、議論した。また、内挿モデルのパラメータを水平的な分布傾向として計算した。1次生産の高い夏季において、分布深度の昼夜変化が明らかになった。水

温躍層の発達する秋季には動物プランクトンの夜間の移動が躍層周辺までに限定された。本海域に流入する冬・初春の沿岸親潮，晩夏の高温・高塩分の水塊の影響による移動の制限が示唆された。また，水平的な分布傾向が季節，昼夜を問わず大きく変化することが示唆された。

第2章においては動物プランクトンの水平密度分布を，第1章の結果を用いて地理統計学的に内挿して各種動物プランクトンの生物量を推定した。また，得られた水平分布と生物量を水温，塩分，海表面クロロフィル量と比較し，本海域の海洋環境の変化による高次生物の索餌対象動物プランクトンの分布の変化の概念化を行った。道東海域の昼間の動物プランクトンの生物量が夏季に大きくなること，また棚上の沿岸流の影響により分布位置が制限されることが示された。本海域の水塊交代によって変化する，沖合水と沿岸水の境界面の位置が動物プランクトンの分布を決定していると考えられた。

第3章では上記調査データから抽出したスケトウダラ当歳魚反応と，第1章，第2章で得られた動物プランクトンの分布，漁獲組成からの各捕食者の出現確率，さらに水温から計算したスケトウダラ当歳魚の成長効率を道東海域全体のスケール（海域スケール）と数十メートルの空間スケール（群集スケール）において比較し，有意な空間関係から，生態系相互作用を考察した。海域スケールにおいて，動物プランクトンの出現と，スケトウダラ当歳魚の分布が対応していることが観察された。成長率は，スケトウダラ当歳魚分布と明瞭な正の対応と有意な空間関係を見せた。捕食者のうち，スケトウダラ成魚は当歳魚分布と負の，カジカ類は正の空間関係を示した。これらの結果から，スケトウダラ当歳魚は必要十分な餌生物を得ながら，着底期の成長を促進し得る空間に分布したと考えられる。一方で，両年とも当歳魚が分布した場所では沿岸捕食者との遭遇率が高く，また2004年においては陸棚上にスルメイカ（*Todarodes pacificus*）が多く見られ，その捕食圧を考慮すると同年は生残には不利な環境であったという可能性も考えられた。

開放系である本海域の生態系では，海洋環境の変化に対する各高次生物への応答は，環境シナリオによって影響力を変える生態系相互作用によって決定されることが考えられる。親潮の進入・沿岸流の変動規模やタイミングの変化は，動物プランクトンの分布（量・位置）に影響し，また各種高次生物の移入・分布を決定し，生残率や捕食圧に影響を与えられる。本研究において得られた結果は，生態系ベースの海洋資源活用とその管理の実践のために有用な知見となる。本研究を基盤とした道東海域における生態系の変動に関する経年的，発展した時空間的な解析を行うことにより，本海域における海洋生態系の保全と持続的な海洋資源の活用を両立する鍵となる情報を得ることができると期待される。

審査委員一同は，これらの成果を高く評価し，また研究者として誠実かつ熱心であり，大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ，申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。