

氏 名 一 井 太 郎

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大乙第63号

学位授与の日付 平成11年3月24日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学 位 論 文 題 目 夏季のサウスシェトランド諸島海域における海洋環境、
餌生物(ナンキョクオキアミ・ハダカイワシ類)および
高次捕食者の時空間分布パターンに関する研究

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 福地 光男
教 授 内藤 靖彦
助 教 授 小達 恒夫
教 授 池田 勉(北海道大学)
教 授 川口 弘一(東京大学)
助 教 授 綿貫 豊(北海道大学)

論文内容の要旨

ナンキョクオキアミ(*Euphausia superba*)は、一次生産の高い夏季には植物食性が強く、ヒゲクジラ類、アザラシ類、海鳥類など多くの動物の主要な餌生物となっており、南極海生態系の鍵種である。よって、夏季における本種の分布と豊度は、一次生産分布を反映し、高次捕食者へのエネルギー流を決定すると考えられる。本研究は、海洋物理環境、一次生産、低次生産(オキアミ・ハダカイワシ)および高次捕食者の時空間的なパターンをメソ(数10~数100km)およびマイクロ(数~数10km)スケールで調べることにより、「オキアミ分布は一次生産が決定し、高次捕食者は採餌効率のよい海域で採餌する」という海洋生態学での重要な仮説を検証し、さらに食物連鎖を流れるエネルギー量を推定することを目的とした。本研究は、オキアミ漁場が形成され、南極海洋生物資源保存委員会のモニタリング計画の対象海域ともなっている、南極半島のサウスシェトランド諸島海域で行われた。

メソスケールのオキアミ分布パターンとその決定要因

本諸島域におけるメソスケールのオキアミ分布を、海洋構造および植物プランクトンとの関係で調べ、オキアミ分布の決定要因を明らかにするために、1990/91年の12月(初夏)と1月(盛夏)に調査を行った。オキアミ分布については計量魚探を用いて調べ、ネット採集した個体から体長や成熟度を調べた。海洋環境については、物理環境として塩分・流動を調べ、一次生産としてクロロフィル *a* 濃度・珪藻類分布を調べた。

オキアミは、特に1月になると沿岸域(131 g/m^2)および斜面フロント域(36 g/m^2)に集中した。さらに、沿岸域のオキアミは小・中型の未成熟個体で占められ、沖合および斜面フロント域のオキアミは大型の成熟個体で占められていた。沿岸域には外洋流と逆向きの緩慢な流れ(反流)が生じており、斜面域には外洋流と沿岸反流によるシアーが生じていたことから、物理的な滞留・集積作用がオキアミをこれらの海域に集めた要因の1つであることが示唆された。また、これらの海域では珪藻類が12月から1月にかけて増加し、オキアミ高密度形成に珪藻類の現存量も密接に関係していることが示唆された。さらに成熟個体が分布したフロント域は、水塊・流動構造が卵や幼生の生存や輸送に有利と考えられ、産卵場として適した環境にあることが分かった。

以上、滞留・集積作用があり一次生産力も高い斜面フロント域や沿岸域に、オキアミ高密度域が形成されると考えられた。また、集積作用が最も大きい沿岸域には遊泳力の弱い未成熟個体が、産卵に適したフロント域には遊泳力の強い成熟個体が集まると考えられた。

メソ-マイクロスケールのオキアミ・ハダカイワシ類の分布パターン

オキアミおよびハダカイワシ類の分布パターンをより詳しく把握し、これらの捕食者であるナンキョクオットセイやアゴヒゲペンギンの採餌域と関連づけるために、これら餌生物の分布をメソ-マイクロスケールで調べた。調査は、本諸島のシール島海域で、1990/91年および1994/95年の12月と1月に実施し、海洋環境は表面海水連続モニタリングシステムを用いて水温、塩分、クロロフィル *a* 濃度を観測した。餌分布は2周波を用いた計量魚探調査とネット採集およびトロール曳網により調べた。

オキアミ分布パターンは、12月には不安定であったが、クロロフィル *a* 濃度の高い沿岸域や斜面域および外洋域のフロントや氷山付近に多く分布する傾向を示した。1月になると、オキアミ分布パターンは安定するようになり、クロロフィル *a* 濃度の高い沿岸域および斜

面域のうち、沿岸域で最も高密度に分布し、クロロフィル *a* 濃度の低くなった外洋域で低密度に分布した。また沿岸域では夜間表層に浮上する日周鉛直移動を行うようになった。ハダカイワシ類は、12月には外洋フロント以北の海域のみに分布したが、1月になると斜面フロント域付近に高密度に分布し、夜間表層に浮上する日周鉛直移動を行うようになった。

以上、オキアミおよびハダカイワシ類は、12月から1月にかけて水平・垂直分布に顕著な時期変化を示し、特にオキアミ分布は植物プランクトン分布にある程度規定されていることが明らかになった。

ナンキョクオットセイおよびアゴヒゲペンギンの採餌域とその決定要因

オキアミやハダカイワシ類の分布にオットセイとペンギンの採餌域形成がどのように対応しているのかを調べ、これら高次捕食者が採餌効率のよい海域で採餌している可能性を検討した。なお、オットセイは餌を体脂肪に変換して蓄え、それを母乳にして幼獣に与えるので、遠出することにより授乳量を多くできる。一方、ペンギンは餌を胃に入れて持ち帰り、その量は胃容積に制限されるので、遠出しても給餌量を多くできない。調査は前述のメソ・マイクロスケールの調査時に行い、捕食者を電波テレメトリーを用いて追跡し、捕食者の採餌域を特定した。さらに捕食者の胃内容物や糞からは餌生物を特定した。

オットセイは、12月には外洋フロント付近まで採餌に出掛け、オキアミ成熟雌やハダカイワシ類を採餌し、1月になると斜面域でオキアミ成熟雌やハダカイワシ類を採餌した。これらの餌生物は、沿岸に分布するオキアミ未成熟個体に比べて、カロリー含量が高く、より好適な餌であろうと考えられた。ペンギンは、12月（抱卵期）には、外洋域まで出掛け、オキアミ付きの冰山を採餌および休息の場として利用しており、省エネ型の効率的な採餌を行った。1月（育雛期）になると、夜間は斜面域まで出掛けハダカイワシ類やオキアミを採餌し、昼間は沿岸域でオキアミを採餌した。表層における餌密度を斜面域と沿岸域とで比較したところ、昼夜とも斜面域の方が高く、特に夜間は顕著に高かった。従って、遠出するほど給餌率が低下する育雛期のペンギンにとっても、夜間は繁殖地から遠い斜面域で採餌する利点があったと考えられた。

以上、高次捕食者の採餌域の選択は、各海域における昼夜別の表層での餌密度の違いで説明することができた。

食物連鎖を流れるエネルギー量

最後に、食物連鎖を流れるエネルギー量(cal/m²/日)を1994/95年1月のデータに基づき試算した。オキアミの消費エネルギー量は、沿岸域で3200(一次生産の30%)、斜面域で1050(10%)となった。ハダカイワシ類の消費エネルギー量は、斜面域で910となり、同海域のオキアミに匹敵し、ハダカイワシ類の餌となる動物プランクトン現存量の大きいことが示唆された。高次捕食者の消費エネルギー量は、沿岸域ではオキアミから72を、斜面域ではオキアミおよびハダカイワシ類からそれぞれ8ずつ摂取すると推定された。以上、斜面域ではハダカイワシ類の存在により食物網が沿岸域に比べ複雑になっていることが明らかになった。

論文の審査結果の要旨

本論文は南極海生態系の鍵種であるナンキョクオキアミが一次生産の高い夏季には植食性が強く、クジラ、アザラシ、ペンギンなどの多くの動物の主要な餌生物になっていることに着目し、海洋一次生産－低次生産（オキアミ、ハダカイワシ）－高次捕食者の時空間分布パターンを調べた。更に、海洋生態学の重要な仮説「オキアミ分布は一次生産が決定し、高次捕食者は最適捕食行動により採餌域を選択する」を検証するために、食物連鎖のエネルギー量を初めて詳細に推定した。

本論文は南極サウスシェトランド諸島周辺海域において海流（衛星漂流ブイ）、海洋環境（温度、塩分連続測定装置）、栄養塩、一次生産（種組成、クロロフィルa量）、オキアミ、ハダカイワシ（ネットサンプリング、計量音響探査）、高次捕食者（テレメータ）の現場調査とそれにより得られた資料をもとに行われた。第1章においては数10 km メソスケールのオキアミ分布パターンとその決定要因についてまとめた。1月のオキアミは沿岸域と斜面フロント域に分布が集中し、沿岸には中小型が、沖合、斜面域は大型個体が優占した。このことは、海流の物理的な集積作用の最も大きい沿岸域に遊泳力の弱い中小型が、遊泳力のある大型個体が産卵に適した斜面フロント域に集まった結果としている。また沿岸域の高い一次生産もオキアミ高密度海域の形成に寄与したと示唆した。この章で示された結果は、今回初めて海流から環境、一次生産、低次生産を同一の時空間スケールで観測されて初めて明らかにされたことである。第2章においては、オキアミ、ハダカイワシの分布を12月、1月の季節変動を含めさらに細かいスケールで検討した。オキアミは12月には一次生産の高い部分にのみ分布し、沖合域においても一次生産が高いフロントや氷山周辺にのみパッチ状に高密度分布が見られたとしている。しかし、1月には常に沿岸域に高密度域が形成された。オキアミの鉛直移動も沿岸域では昼夜の鉛直移動が見られたが斜面域では鉛直移動は見られず表層に滞在した。ハダカイワシは12月は一次生産の高く表面水温も高い沖合フロント域にのみ、1月は同様の条件の斜面フロント域に分布し、日周鉛直移動は1月に顕著に見られると結論している。この章ではさらに細かいスケールで分布構造を解析、分布が一次生産により支配されていることを示し、さらに季節的変動が大きいことを示した点で新しい結果として評価された。第3章では、ナンキョクオットセイ、アゴヒゲペンギンの採餌行動を連続的に追跡し、餌生物のオキアミ、ハダカイワシの分布を同時に定量化し両者の関係を考察している。12月にオットセイは沖合フロント域に移動し量的に少ない成熟雌のオキアミやハダカイワシを採餌し、1月は斜面域で同様の餌を採っている。これは、これらの餌生物は沿岸の未成熟のオキアミに比べて、カロリー含量が高く、エネルギー蓄積に適した餌であろうと指摘している。ペンギンは12月は外洋の氷山の周辺でカロリー含量の多いオキアミを採り、1月には沿岸域、斜面域でオキアミ、ハダカイワシを採っているとしているが、これはペンギンは12月にはまだ雛を持たないため遠出が可能で

あり、1月にえさ場が近くなったのは雛に高い頻度で餌を与える必要があるためと推論している。また餌効率の点から沿岸域と斜面域で比較し、餌生物の鉛直移動も考慮し、沿岸域より斜面域の方が、特に夜間は効率的としている。このことから高次捕食者は雛あるいは子への餌の持ち帰り率を最大化するという最適採餌行動をとっていると結論している。この点でオットセイは高カロリーのミルクの形で幼獣へのエネルギーを集中的に与えることができるため採餌に際して有利とするユニークな結論を得ている。最後の章では、エネルギーのフローを計算し、オキアミが消費する量は沿岸域で 256 mgC/m²/d(一次生産の24%)斜面域で 84 mgC/m²/d(8%)、ハダカイワシで 57 mgC/m²/d であるとしている。また、オットセイの消費量を今回初めて試算し、その量が非常に大きく、オキアミ以外による生態系への寄与について見直しの必要性を指摘している。高次捕食者への流れは、沿岸域ではオキアミから 5.9 mgC/m²/d、斜面域ではオキアミ、ハダカイワシから 0.6 mgC/m²/d、0.5 mgC/m²/d であるとしている。

本論文の大きな成果は、従来断片的に試みられている生態系のエネルギーの流れをその律則要因をも含めて、総合的に検討、考察した点にある。このような研究例は南極海生態系の研究分野ではほとんどない。特に、従来指摘されていなかったハダカイワシの新たな役割が指摘された点で価値の高い論文となっている。また、沿岸と斜面域の生態系の違いが指摘された点も非常に新しい点であり、今後両者の扱いを別にする必要性を指摘している。また、本論文は、今後の研究の指針となる内容をも多く含んでおり、論文審査委員会では、こうした研究内容および成果は博士学位論文に相当すると判定した。

申請者本人による公開論文発表会においても、発表の内容、展開力など全般に高い評価を受けた。また質疑においても説得力のある解答を示し、この点からも委員会は知識、基礎学力に問題ないと判断した。審査委員会では、口頭発表後、学力確認のため口述諮問の形式で試験を実施した。質疑応答において、海洋生態学、水産学、極域海洋学などの側面から、また学位論文に関連した分野の研究動向など専門的側面から質問を行ったが、的確に対応した。審査委員会は、基礎学力、専門知識とも十分であり、本学の数物科学研究科を修了した者と同等以上の学力を有することを確認した。さらに、論文審査委員会は一井太郎君が専門の研究者として活動を行うに必要な英語力についても検討した。彼は既に査読者制度のある英文学術研究雑誌に論文を発表していることで、基礎的な英語力に問題はないと結論した。