

氏 名 岩田 高志

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1507 号

学位授与の日付 平成 24 年 3 月 23 日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 亜南極域サウスジョージアにおけるナンキョクオットセイ  
の採餌戦略に関する研究

論文審査委員 主 査 准教授 高橋 晃周  
教授 伊村 智  
教授 福地 光男  
主幹研究員 赤松 友成  
水産総合研究センター  
准教授 森 貴久 帝京科学大学

## 論文内容の要旨

本研究は、亜南極域における主要な海洋高次捕食者であるナンキョクオットセイ *Arctocephalus gazella* の採餌戦略を明らかにすることを目的に、1) 加速度ロガーを用いてオットセイの口の開閉を検出する手法の確立、2) 3次元遊泳軌跡と口の開閉記録から見た、オットセイの餌探索行動の研究、3) 餌環境が異なる年間でのオットセイの採餌行動の比較、を行った。

パッチ状に分布する餌を利用する動物は、餌に遭遇した場合に移動軌跡の方向転換率を増加させ、移動速度を低下させることが、最適な餌探索戦略の理論から予測されている。この行動は、一般に地域限定探索 (Area-Restricted Search (ARS)) と呼ばれている。海洋高次捕食者において、餌遭遇と遊泳軌跡の情報を組み合わせて ARS 行動を調べた研究は非常に少ない。一方、海洋高次捕食者の採餌行動は、海洋環境変化にともなう生態系変動の指標として各地で使用されている。海洋高次捕食者の採餌行動の変化を海洋生態系変動の指標としての的確に利用するためにも、彼らの詳細な採餌行動を調査する必要があると考えられる。近年開発されたデータロガーを用いることにより、動物の遊泳軌跡や餌遭遇に関係した行動を調べることが可能となっている。サウスジョージアで繁殖するナンキョクオットセイは、ナンキョクオキアミ *Euphausia superba* を主要な餌とする海洋高次捕食者の一種である。オットセイの餌遭遇や遊泳軌跡の情報を明らかにすることで、彼らの餌探索行動や餌環境の変化に対する行動の変化を捉えることができると考えられる。そこで、本研究では近年開発された動物装着型データロガーを用いて、餌遭遇や遊泳軌跡の情報を取得し、ナンキョクオットセイの餌探索行動や変動する餌環境に対応した採餌行動を明らかにすることを目的とした。

野外調査を 2009 年の 1 月から 3 月に、サウスジョージア・バード島にて実施した。20 個体の授乳期間中の雌のナンキョクオットセイを対象とした。オットセイの下顎と背中と首の後ろにデータロガーを取り付けた。本研究では地磁気加速度ロガー、加速度ロガー、カメラロガー、GPS ロガーを様々な組み合わせで装着した。オットセイの 1 採餌トリップ後に動物を再捕獲し、データロガーを回収した。回収したデータロガーから潜水深度記録、顎の加速度記録、背中の加速度記録、地磁気記録、GPS による位置情報を取得した。また採餌行動の年間の比較を行うために、2005 年に同様に取得された 9 個体分の加速度データも使用した。

オットセイの下顎の加速度記録から約 3Hz の高周波成分の動きが検出された。この顎に検出された加速度記録の高周波成分のピークは、背中の加速度記録のピークよりも大きく鮮明であったため、口の開閉であることが示唆された。オットセイの潜水中の口の開閉回数は平均 10 回であった。口の開閉が検出された潜水では、オットセイが頻繁に鉛直ターンをしていたことから、鉛直ターンは口の開閉に連動して生じていると考えられた。口の開閉の記録は、捕食の成功・不成功を区別できないが、少なくとも餌遭遇の指標として有効であることが示唆された。また、体の動きから計測可能な餌遭遇の指標として鉛直ターンの計数が有効であることが示唆された。

次に、地磁気、加速度と GPS の記録から遊泳軌跡を再構築し、遊泳軌跡と餌遭遇の指標である口の開閉の情報を組み合わせて、短期間の様々な時間スケール (潜水バウトスケール

ル、1回の潜水スケール、潜水中のボトムスケール)におけるオットセイの餌探索行動を調べた。オットセイの潜水バウト中の口の開閉頻度は、潜水バウト終了後の水平直線移動距離と関係が無かった。また、平均潜水バウト時間よりも短い10-90分の時間スケールにおいては、過去10分間の口の開閉回数とその後の10分間の水平直線移動距離の間に、10分以上の時間スケールよりも強い負の直線的関係が示された。さらに、オットセイの潜水終了後の水平直線移動距離について、過去1-50回の潜水までの口の開閉回数の影響を調べたところ、直前(過去1回)の潜水の影響を受けていることが示された。次に1回の潜水スケールにおいては、潜水中の口の開閉回数は、潜水後の水平直線移動距離と負の直線的関係を示した。次に潜水中のボトムスケールでは、ボトム中の口の開閉回数は、潜水遊泳軌跡の直線度と負の直線的関係を示した。これらの結果は、ナンキョクオットセイが、潜水バウトや過去10分以上の時間スケールではなく、1回の潜水スケールや過去10分間程度の短い時間スケールでの採餌経験を元に餌探索をしていることを示唆する。さらに、パッチ状に分布するオキアミを利用するナンキョクオットセイは、餌に遭遇した後に移動軌跡をより湾曲させ、比較的狭い範囲(数十メートルスケール)に留まるARS行動をすることで、効率良く餌探索していたことが示唆される。

次に、餌環境が異なった2年間(2005年と2009年)において、オットセイの餌遭遇の指標である鉛直ターンや潜水深度を比較し、餌環境の変化に対する行動の変化を調べた。潜水中の餌遭遇率は、2009年(夜:0.04回/秒、昼:0.02回/秒)の方が2005年(夜:0.06回/秒、昼:0.03回/秒)より昼夜ともに低かった。この結果は、2009年のオットセイの主要な餌であるオキアミの資源量の低さが、オットセイの餌遭遇率に影響していたことを示唆する。ボトム中の鉛直ターン間隔は、2009年(夜間:15.7秒、昼間:25.8秒)の方が2005年(夜間:9.2秒、昼間:13.1秒)より昼夜ともに長かった。オットセイが1回の潜水中に遭遇する餌はすべて1つのパッチに属すると仮定すると、ボトム中の鉛直ターン間隔は、オットセイが遭遇するパッチ内の餌密度の指標として考えることができるだろう。この指標に基づくと、オットセイにとっての2009年の餌環境は、パッチ内の餌の密度が低下していたことを示唆する。一方、オットセイの夜間の1時間あたりの潜水時間に年間で差は見られなかったが、昼間の1時間あたりの潜水時間は2009年(9分/時間)の方が2005年(2分/時間)よりも長かった。結果として、1日あたりの総水中滞在時間は2009年(6.6時間)の方が2005年(4.5時間)よりも長かった。また、1日あたりの餌遭遇数は年間で差が見られなかった(2005年:1139回、2009年:1071回)。この結果は、ナンキョクオットセイが1回の潜水での餌遭遇数の減少を、昼間に長く潜水し1日あたりの潜水時間を長くすることによって補い、1日あたりの餌遭遇数を2005年と同程度に維持していた可能性を示唆するだろう。

本研究は1秒ごとの時間スケールでのナンキョクオットセイの口の開閉や鉛直ターン、遊泳軌跡を調べることによって、詳細な餌探索行動や餌環境に対応した採餌行動を明らかにした研究である。本研究で確立された餌遭遇と遊泳軌跡の情報を組み合わせて採餌行動を詳細に明らかにする手法は、多くの海棲哺乳類、特に鰭脚類に対して広く応用可能であると考えられる。今後、本研究の手法を用いることにより、様々な種類の海洋高次捕食者の餌探索行動や海洋環境変化に対する行動の変化が明らかになると期待される。

出願のあった論文は、亜南極域に生息する主要な海生哺乳類の一種、ナンキョクオットセイの採餌戦略を明らかにすることを目的としている。一般に、遊泳コストの高い水中を移動し、水面から直接見えない餌を捕食する潜水性海洋動物にとって、様々な餌の条件に合わせて餌の探索行動や採餌努力量を変化させることは採餌戦略の重要な側面の一つだと考えられる。しかし、これまで、水中での餌の捕食や移動経路を詳細に追跡することが技術的に困難であったため、様々な時間スケールでの餌条件の変化に対する潜水性海洋動物の採餌戦略の知見は限られていた。本研究は、近年開発された加速度記録計を用いることで技術的な制約を克服し、オットセイの短い時間スケールでの餌探索行動および餌条件の年間の違いに対する採餌行動の変化を明らかにしたものである。

本研究は、まず、加速度の記録から捕食に関わるオットセイの動きを検出する手法を詳細に検討している。オットセイの下顎と背中に小型の加速度記録計を同時に取り付け、得られた加速度記録の周波数解析がされた。その結果、潜水中のオットセイの下顎の加速度記録から約 3Hz という高周波成分が検出された。この約 3Hz の素早い動きは背中の加速度記録には検出されず、口の開閉にともなう下顎の動きであることが示唆された。口の開閉の大半は、潜水ボトム中に記録されており、オットセイが餌に遭遇して捕食を行ったか、捕食を試みた際の口の開閉を反映すると考えられた。その一方で、約 3Hz の下顎の動きと連動して、オットセイの体全体が鉛直的にターンする動きが背中の加速度記録計に頻繁に記録された。オットセイが餌を追尾・捕食する際に鉛直的なターンを行うことは過去の断片的な観察から知られており、下顎に比べてデータ取得が容易な背中の加速度記録に現れた鉛直ターンも捕食行動に関わる汎用的な指標となることが示唆された。

次に、本研究は、加速度記録から得られた口の開閉の情報と、地磁気記録と GPS 記録から得られた 3 次元的な遊泳軌跡の情報を組み合わせることで、1 秒から数十分の時間スケールでの餌条件に対応したオットセイの餌探索行動について調べている。その結果、直前の潜水中の口の開閉回数が多かったときには、次の潜水までの直線移動距離が短くなるという関係が見られた。すなわち、オットセイはより多くの餌に遭遇した際に移動軌跡を変化させ、餌との遭遇が予想される狭いエリアを探索する地域限定探索と呼ばれる行動をとることが明らかにされた。ただ、この関係は連続した潜水のまとまりである潜水バウトの時間スケールでは観察されなかった。餌の分布の空間変化が小さい短い時間スケールにおいてのみ、採餌経験にもとづいて餌を探索する行動をとっていると考察された。

また、本研究は、オットセイの主要な餌生物であるナンキョクオキアミの現存量が異なる年間での行動の比較から、餌条件の年間の違いに対するオットセイの行動的応答を調べている。オキアミの現存量が低かった 2009 年と比較的高かった 2005 年の両年で得られている指標として潜水ボトム中の鉛直的なターンの出現間隔を比較すると、2009 年で鉛直ターンの出現間隔が長く、オットセイと餌との遭遇の時間間隔が長かったことが示唆された。その一方で、一日あたりの総潜水時間は 2009 年の方が長く、一日あたりの鉛直ターンの回数は年間で違いはなかった。これらの結果から、ナンキョクオットセイは一回の潜水中での餌との遭遇率の低下に対し、採餌努力量（潜水時間）を増加させることで一日あたりの総餌獲得量を一定以上に保つよう行動していたことが示唆された。

以上の結果は、捕食に関わる動物の動きを検出する新しい手法を用いて、採餌経験にもとづく餌の探索や餌条件の年間の違いに対する行動的応答というオットセイの採餌戦略を明らかにした点で新規性が高いと認められる。またその成果は、海生哺乳類の海洋環境への適応様式や環境変動への応答に関わる今後の研究に重要な貢献があると考えられる。したがって、審査委員会では、提出された論文が学位論文に値するものと、全員一致で判定した。