

氏 名 三 谷 曜 子

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第677号

学位授与の日付 平成15年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 極域科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 地磁気・加速度データを用いたウエッデルアザラシの
三次元潜水行動解析

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
	助教授	野木 義史
	助教授	吉岡 基（三重大学）
	助教授	荒井 修亮（京都大学）

論文内容の要旨

「地磁気・加速度データを用いたウェッデルアザラシの三次元潜水行動解析」

肺呼吸する潜水動物は呼吸を停止して潜水を行い、水中での採餌を行う。進化の過程で一度は陸に上がった脊椎動物が、再び水中に戻って採餌するためにどのように適応し、どのように潜って採餌するかを明らかにすることは、興味深いテーマである。自然環境下における潜水行動についての情報は、水中での観察が困難を伴うことから、ほとんど得られていなかったが、近年におけるデータロガーの発展によって、水中で実際にどのような行動をしているか、限られた酸素で泳ぎ回るためにどのように適応しているかが明らかになりつつある。しかし、彼らが行動するのは海という三次元空間であり、どこへ潜るのか、その場所まで行くのにどのような経路を通るのかを知るためには、潜水行動を三次元で解析することが必要である。そこで本研究では、地磁気・加速度データを用いて三次元潜水経路を再構築する手法を確立した。

本研究で対象とするウェッデルアザラシ *Leptonychotes weddellii* は南極の定着氷域において繁殖する唯一のアザラシであり、南半球の初夏である9～11月に定着氷上で繁殖する。この間、繁殖コロニー周辺の海域は厚い定着氷で覆われているが、島周り、あるいは多年氷と一年氷の境目などには、潮汐の影響により、クラックと呼ばれる海氷の裂け目ができている。アザラシは、繁殖期間中、このクラックを氷上と海中との出入り口として、さらに、潜水と潜水の間に息をする呼吸孔として利用している。ウェッデルアザラシの潜水能力は高く、最高700mの深さまで潜ることができ、日常的にも水深200mを越える潜水を繰り返し行っている。定着氷下において採餌する場合、採餌場所は呼吸孔を中心として息が続くうちに呼吸孔まで帰ってこられる範囲に限られる。このような潜水行動が知られているウェッデルアザラシにおいて、

- 1) どこへ向かって、どのような経路を潜って潜行していくのか
- 2) どこで摂餌しているのか
- 3) 限られた場所にしか開いていない呼吸孔へとどのように帰ってくるのか

という3つの疑問に答えるためには、三次元の潜水行動を明らかにする必要がある。

第2章において、地磁気および加速度データロガーによって得られたデータを用いてウェッデルアザラシの三次元潜水経路を再構築する方法を確立した。これにより、どのような経路で、どの場所で潜るのか、さらに、どのような姿勢をとっているのかなどについても明らかにすることができた。アザラシは100m以下の比較的浅い海域において、腹を上に向けたままの姿勢をとっていた。このようなに仰向けで泳ぐなどの回転行動は、水族館などで観察することができるが、自然環境下において検出することができたのは、本研究が初めてである。

ウェッデルアザラシの成熟メスは、定着氷の限られた場所に開いている呼吸孔を利用して海に潜り、水深200m以上で魚類を摂餌することによって、授乳中に失ったエネルギーを補給しているものと考えられている。よって、定着氷の下で、どの方向へ潜り、どの場所で摂餌しているのかを明らかにすることは、本種の生態について新たな知見をもたらす

ものである。

第3章において、島周りの繁殖地である Big Razorback 島、および沖合のクラック上に形成された繁殖地である Turks Head の計 5 個体において三次元潜水行動を比較した。ウェッデルアザラシはその繁殖海域の海底地形のような物理的な制限によって、三次元の潜水行動を変化させていた。なだらかな斜面の続く Big Razorback 島周辺のアザラシは海底に沿って、水平的にも呼吸孔から遠く離れた海域まで潜って摂餌をしていた。これによって、Turks Head の個体よりも潜行時間が長くなっていた。一方、浮上時間は場所間、個体間で有意差が見られなかった。これは、Big Razorback 島の個体が、ボトム相において呼吸孔に近づく方向へと泳いでいることによるものであることがわかった。Turks Head のように 300m の深い水深においても、真上に呼吸孔がある環境とは異なり、Big Razorback 島の個体は、摂餌深度において呼吸孔を確認することは不可能であると考えられる。Big Razorback 島において、「深く、遠くまで潜って、呼吸孔に近づきながらボトムで摂餌し、潜行終了地点よりも浅くて近い場所から帰ってくる」という特徴は、呼吸孔によって潜水行動が制限されることによるのかもしれない。Turks Head の個体においては、地形という物理的な制限以外の要因が、個体の潜水行動の違いに関係していることが示唆された。

第4章において静止画像ロガーから得られた画像情報による餌指数と三次元潜水行動の比較を行った。繁殖海域周辺における餌密度はばらつきが大きく、アザラシは前回に潜っていた場所と異なる場所へと潜行することにより、次に得られる餌の期待値を上げていることが予想された。

本手法によって確立された三次元潜水行動の情報と、画像記録のような環境情報をと組み合わせることにより、従来は観察が難しかったために理論でしか実証されていなかった潜水動物の最適採餌戦略を明らかにすることが可能となる。

論文の審査結果の要旨

「地磁気・加速度データを用いたウェッデルアザラシの三次元潜水行動解析」

審査結果

学位申請のあった三谷君の論文「地磁気・加速度データを用いたウェッデルアザラシの三次元潜水行動解析」は、呼吸や上陸のために厚い海水に孔（呼吸孔）をあけ、この孔から水中深く潜水し、餌をとる南極のウェッデルアザラシの潜水行動をまとめたものである。研究は、アメリカのマクマード基地において、繁殖期間中の雌のアザラシを対象に、水中を移動する動物の移動経路を求める方法の開発と、開発された方法を利用して、肺呼吸動物が限られた体内酸素をいかに有効に用いて餌探索をしているかを明らかにすることを主な目的としている。論文は5章よりなり、第1章においては、本研究に関するこれまでの研究のレビューを含め、本研究の意義、目的について記述している。第2章においては、動物体に装着した記録計から得られた地磁気・加速度データを用いて動物の三次元の潜水経路の計算手法をまとめた。本章では、水中の位置情報を重力加速度と地磁気を組み合わせて解析することにより動物の姿勢の影響を除去して確実に計算する方法をまとめた。重力加速度の検出は、動物の動きに起因する周波成分を除去することにより求め、それにより動物の水中位置情報を安定して得る方法を確立した。このほか従来の音響手法では得られなかった動物の姿勢の情報を得たことも報告している。第3章では、開発された方法を用いて、海底地形が異なる2ヶ所のコロニーのアザラシ5個体、計212回の潜水経路、潜水行動について解析し、潜水行動が地形の影響を受けていること、潜水方向は個体によりそれぞれ一定の方向があること、200~400mの深い海底付近まで潜水すること、餌場への到達はほぼ直線的に移動し、潜行途中では餌を求めてランダムに探索する行動は見られないこと、潜水のボトムに到達するとランダムな探索的行動が見られること、浮上に際しては視覚的に海水の孔を探し呼吸孔に直線的に戻っていることなどをデータ解析から客観的に明らかにした。第4章においては、餌分布と潜水行動を検討し、餌の密度が動物の行動にどのように影響しているかを検討している。餌密度を求めるため、動物体に装着したカメラによる30秒ごとの画像を画像解析し、動物の移動軌跡上の餌インデックス（密度）を求めた。解析の結果、餌は150mより深い深度で有意に多く出現し、動物は深い層の豊富な餌を求めて潜水していることが具体的データで始めて示された。また、餌の密度は比較的均一で、特定の場所に遍在しないことを示した。繰り返しの潜水においては餌場を移動した方が移動しないより餌への遭遇率が高いとし、動物は潜水ごとにランダムに餌場を替えること、一ヶ所にくり返して潜水しないことを説明している。第6章においては本論文の結論をとりまとめ、今後の研究の課題や展望を明確に示した。

以上の研究結果は、動物の水中行動研究で基本的情報である三次元の位置情報について、大がかりな装置を必要とする従来の音響手法によらない、新しい方法を確立した点、位置情報および餌密度情報の両方を同時に得て、採餌行動の詳細を明らかにして点で、本論文は国際的レベルにおいても価値の高い研究と評価でき、審査委員会は三谷君の提出した論文は学位論文（理学博士）に値すると判断した。

試験結果

審査委員会は約 1 時間の本論文の公開発表を聞き、その後審査委員会として口頭による試験を行なった。論文の研究内容についての技術的問題、データの取扱いの問題、全般の問題など他方面からの質問を行なったが、返答は説得力があり、妥当なものであった。今後研究者として論文をまとめるのに必要な高い能力を有すると判断した。同時に出願者が課題に対する問題点を的確に把握し、具体的に解決する能力の高さを有していることもうかがわれた。またこの研究の背景となる研究分野の学術的基礎知識に関する質疑応答を行ったが、適切な答えがなされた。質疑応答の中からも、出願者が学術的基礎的素養を持ち、将来研究者として研究を高いレベルで展開できることも可能と判断した。このほか研究について自ら考え、解決のため新たな技術を駆使して課題に取り組む意欲も評価された。さらに副論文として提出された英語の論文から英語を書く能力も備わっていると判定された。従って、これらの試験により出願者の論文は学位論文のレベルに達しているとして全委員の意見が一致した。

専攻委員会の審議結果

本専攻の学位授与に関する専攻規則に基づき、平成 15 年 2 月 12 日に開催された極域科学専攻委員会は、主査等による審査経過概要の説明、本報告書の「論文審査結果」及び「試験結果」に基づき、慎重に審議した結果、審査委員会の結論を妥当なものと判断し、学位授与を「可」とした。