

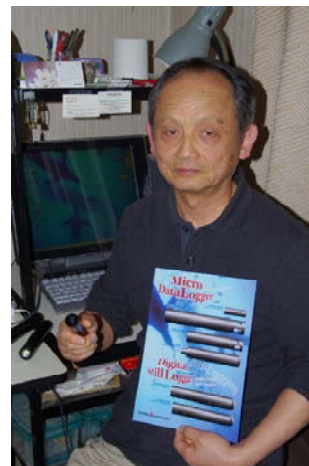
動物目線による海洋環境モニタリング

リーダー： 佐藤 克文 東京大学大気海洋研究所

メンバー： 鈴木 道彦 リトルレオナルド社



左より青木かがり博士、パトリックミラー博士、



鈴木道彦氏

1. 背景および目標

地球環境変動を考える際に重要な要素となる海洋の役割を解明するために、海洋観測・生物調査が進められている。特に、人間に対する影響が大きいと考えられる沿岸域や、十分な調査研究が進んでいない中・深層を探索するため、研究船や係留ブイ、あるいはアルゴ計画といった人工衛星を用いたテレメトリーによる海洋観測監視体制が強化されつつある。しかし、地球表面の7割を占め、平均水深4000メートルにいたる海洋において、人間が測器を用いて直接測定できる範囲は限られている。一方、海洋に暮らす動物は、各個体が水平方向に数千キロメートル、鉛直方向に数十メートルから数千メートルもの行動範囲を持ち、それぞれ現場海域の環境に適応して暮らしている。本プロジェクトでは、海洋で暮らす動物の振る舞いを記録し、彼らを取り巻く海洋環境に関する情報を得るために、小型の画像収録装置を海棲哺乳類や海鳥類に取り付けた。

具体的には、1000mの深海でイカ類を捕獲していると考えられているマッコウクジラの採餌行動の詳細を記録すること、および、海上を水平方向に数百km移動しながら魚類を捕獲しているオオミズナギドリの採餌方法を把握するために、必要な測定器(カメラ)の開発・改良を進めつつ、3年間の野外調査を実施した。開発した装置を様々な動物に搭載し、人間主導の既存の海洋観測手法と相補的な手段になりうる「動物目線による海洋環境モニタリング」手法を提案する。

2. 主な研究成果

3年間にわたり、様々な改良を重ねながらマッコウクジラにLED光源付き静止画像記録装置を搭載してきたが、イカそのものを撮影することはできなかった。しかし、行動記録計によりマッコウクジラが深海で時々突進遊泳することが判明し、突進遊泳が見られた前後に撮影された映像には、頭足類の触腕らしき物体やイカ墨と思われる映像が記録されていたことから、これらの突進遊泳はマッコウクジラの採餌行動であると解釈できる。従来いわれていたような待ち伏せ型の捕獲方法ではなく、マッコウクジラは活発な追跡型のハンターであることが判明した。

オオミズナギドリの腹部に軽量のビデオカメラを搭載したところ、海面直下でカタクチイワシの群れに遭遇する様子が撮影できた。群れの下にはブリやサバといった大型魚類が泳いでいたことから、大型魚類がカタクチイワシの群れを海面に追い上げ、それを海鳥が利用していると考えられる。また、オオミズナギドリはカタクチイワシの群れに遭遇した後、海面直上を飛翔しながら追尾し、空中から水中に飛び込み嘴で魚を捕らえていた。飛翔に特化し、潜水能力に劣るオオミズナギドリが、いかにして魚類を捕らえているのか、その行動パターンが明らかになった。



それぞれの対象動物より得られた画像情報は、いずれも人類が初めて目にする映像である。これらの映像により、事前に研究者が想定していたものとは全く異なる知見も数多く得られた。動物目線の海洋環境モニタリングを可能とするバイオリギング手法は、人間の勝手な思い込みや予断を修正してくれるユニークで有効な研究手段であることが分かった。

3. 研究成果

機器開発)

マッコウクジラを初めとする大型ハクジラ類は、深度 1000m 以上の深海に潜る能力を持つ。そこで、装置は深度 2000m の耐圧能力を持つ耐圧容器に収めた。カメラモジュール DSL2000-VDT II は深度(圧力)センサーを備え、1 秒間隔で深度を記録すると共に、任意の設定深度を越えると最短 4 秒間隔 (最長 3600 秒間隔) で静止画を記録する。撮影される静止画像は 1280x1024=138 万画素で、最大撮影枚数は 1300 枚以上。カメラモジュールのサイズは径 30mm、長さ 148mm、質量 180g。深海では自然光が届かないため、撮影には光源が必要となる。光源モジュール LIT2000-4LED のサイズは径 30mm、長さ 130mm、質量 185g。白色 LED4 灯を備えている。光源モジュールはカメラモジュールからの信号により発光する。1 台のカメラに対し最大 3 台の光源モジュールを組み合わせてマッコウクジラに搭載することで、3~4m 離れた被写体まで撮影できる。

オオミズナギドリは体重 600 g 前後の飛翔性海鳥である。飛翔性鳥類に搭載する装置は、体重の 3%程度に抑える必要がある。本プロジェクトでは、毎年装置を改良し最終的に 20g(電池やケース含む)の動画収録装置 DVL002 が完成した。画素数 640x480=30 万画素の映像を、30 フレーム/sec の動画で最大 45 分間撮影できる。装置には遅延タイマーが備わっており、0 から 24 時間後から動画を撮影することができる。オオミズナギドリは最大深度 5m 程度まで水に潜ることが予想されるので、必要とされる耐圧性能を備えたプラスチック製ケースに装置を収めた。

浅海を泳ぐ魚類や潜水性海鳥類に搭載できるよう、耐圧能力 400m の容器に収めた動画収録装置 DVL400 を開発した。サイズは径 23mm、長さ 116mm、質量 80g(電池含む)。鶴類やペンギン類は、飛翔や歩行によって移動した後、潜水を開始する。したがって、水中に入ってから撮影を開始するよう、salt water switch を備えている。画素数 640x480=30 万画素の映像を、30 フレーム/sec の動画で最大 4 時間間撮影できる。

マッコウクジラ調査)

本予算で雇用された博士研究員(青木かがり)が野外調査を主導し、2010 年から 3 年間、小笠原父島周辺海域で野外調査を実施した。耐圧性カメラモジュール DSL2000-VDT II に光源モジュール LIT2000-4LED を 3 台組み合わせ、深度や遊泳速度を測定できる行動記録計とともに浮力体に固定した。装置一式は吸盤でマッコウクジラ頭部にとりつけ、一定時間後にクジラから脱落して海面に浮かんだ際に VHF 発信器からの電波を頼りに装置を回収した。マッコウクジラは秒速 1.5m 前後の巡航速度で海面と 1000m 近い深度を何度も往復した。最大潜水深度付近で時々遊泳速度が秒速 5m 程度まで加速した。得られた画像データによると、この突進遊泳の前後にイカ類の墨と思われる映像や鰓腕の破片のような映像が見られたことから、マッコウクジラは活発な追跡により頭足類を捕獲しているものと考えられた。目標として掲げていた捕獲するイカ類の映像撮影は、残念ながら 3 年間の野外調査では達成できなかった。

想定外の結果としては、水面から深度 400m 前後まで、同種他個体と並んで潜降していくという行動が発見された。採餌を行う深度では別行動をとっているようであった。途中まで共に潜降していく理由はいくつかわからない。

オオミズナギドリ調査)

2010年から3年間、岩手県山田町船越大島においてオオミズナギドリ調査を実施した。夜間、集団繁殖地に戻ってくる親鳥に超小型ビデオカメラ DVL002 を取り付けた。鳥は明け方島を立ち、海へ採餌に出かけていく。遅延タイマーを用いて正午から撮影を開始するよう設定した。翌日ないし数日後に、繁殖巣に戻ってきた親鳥を再捕獲し、カメラを回収した。2010年には、海面下でカタクチイワシの群れに遭遇するシーンを撮影できた。群れの下にはサバやブリが泳いでいたことから、カタクチイワシは魚食性の大型魚類によって海面に追い上げられていたことが分かる。2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震による津波によって、調査の継続が危ぶまれたが、9月には例年通りの調査を実施できた。この年に得られた映像には何故かカタクチイワシが映らず、鳥が着水した海面下にはブリやマルソウダなどの大型魚類のみが泳いでいた。2012年には、オオミズナギドリが水面下でカタクチイワシを捕獲するシーンを撮影できた。水面下でカタクチイワシの群れを確認すると、鳥はすぐさま離水し、水面直上を飛翔しながらカタクチイワシの群れを追跡した。その後、空中から水中に直接飛び込み、嘴でカタクチイワシを捕獲した。これは本種の採餌行動を間近で観察した初の記録となった。

2012年に得られた映像には、10分40秒の間に19回潜水し11尾の餌（多くはカタクチイワシと判別された）を捕獲するシーンが含まれていた。仮に1尾が20gだとすると、11尾で220gとなり、体重540gのオオミズナギドリの胃袋には収まりきらない。実際のところ、オオミズナギドリは捕獲した餌のいくつかを捨てていた。野生動物が必要以上に餌を殺傷するという事例は極めて希で、既存の理論ではこの行動を説明できない。

その他の野外調査)

本プロジェクトによって開発・改良されたカメラは、マンボウ・サメ類（イタチザメ、ガラパゴスザメ、メジロザメ）・スズキ・ウミガメ類・ヨーロッパヒメウ・ザトウクジラ・コビレゴンドウ・ハシブトガラス・チーターといった、多様な対象動物に取り付けられた。

岩手県大槌町周辺海域の定置網で捕獲されたマンボウに、光源付き静止画像収録装置を取り付けて放流したところ、マンボウが深度100~200mでクダクラゲ類に遭遇して、それを捕食している様子が撮影された。従来海面にぷかぷかと浮かんでいるといった不活発な印象を抱かれがちなマンボウが、実は海面から深度数百メートルまで餌を捕らえるために活発にアプローチすることが判明した。

ハワイ周辺海域で行われたサメ類を対象とした野外調査でもいくつか興味深い映像が得られている。例えば、メジロザメに動画収録装置を付けた際は、深度80mにおいてメジロザメ、カマストガリザメ、アカシュモクザメが大規模な混群をなす様子が撮影された。アカシュモクザメはIUCNレッドリストにおいて絶滅危惧種に指定されており、その保護に向けて貴重な生物学的知見が得られた。

従来十分観測がなされていると思われていた陸上動物にも「動物目線の環境モニタリング」は有効であった。ナミビア共和国では深い藪の中で狩りをするチーターの行動パターンを測定することができた。チーターは時速100km以上で走り獲物を捕らえる地上最速の動物という印象が世間一般には定着しているが、藪の中の最高速度は時速40km程度であり、この結果は「野生動物は常に最大運動能力を発揮するわけでは無い」という新しい動物観につながり、その内容は一般書「サボり上手な動物たち」（岩波科学ライブラリー）として出版することができた。

4. 今後の取り組み

本プロジェクトの1年目が終了する2011年3月11日に、東北地方太平洋沖地震により津波が発生し、三陸沿岸地域一帯に甚大な被害を及ぼした。オオミズナギドリやマンボウの調査地は三陸沿岸海域中央部に位置しており、津波による擾乱の影響を強く受けた可能性が懸念された。しかし、オオミズナギドリ調査を実施した船越大島の繁殖地は直接波をかぶらなかった。雛成長率や巣立ち率に顕著な変化は現れなかったが、鳥の行動を細かくみると、2011年のみ日帰り採餌旅行の割合が下がり、多くの個体が北海道沿岸まで遠出し、さらにカタクチイワシ以外の魚種が胃内容物の主要な構成餌生物となるという変化が見られた。2012年からは沿岸の定置網漁業も復活し、マンボウ調査も再開できた。人間の諸経済活動が津浪による影響から数年かけて回復していく過程で、沿岸海域に生息する海洋動物の行動生態がどのように推移していくのかを、動物搭載型カメラをはじめとしたバイオリギング手法による調査研究によりモニタリングしていく。

本プロジェクトで博士研究員として雇用された青木かがりは、日本学術振興会海外特別研究員に採択され、2013年度よりスコットランドのSea Mammal Research Unitに移籍する。新たな受け入れ研究者であるPatrick Miller博士は、本プロジェクトの協力者でもあり、今後数年にわたって各種ハクジラ類やザトウクジラを対象とした共同研究が実施される。開発された画像収録装置は野外調査で最大限活用される予定である。

オオミズナギドリ野外調査を主導した塩見こずえ(学術振興会特別研究員PD)は、平成24年度岩手県三陸海域研究論文知事表彰事業にて、『三陸沿岸で繁殖する海鳥の洋上移動パターンの解明』というタイトルで特別賞を受賞した。これにより、地元岩手県の関係者にオオミズナギドリ研究の成果が広く知れ渡ることになった。塩見こずえは日本学術振興会海外特別研究員に採択され、2013年度よりスウェーデンのLund大学に移籍した。今後、アジサシ類を中心とした海鳥調査を継続する予定で、本プロジェクトによって開発された各種装置も提供する予定である。

5. 発表実績

書籍)

- ・佐藤克文. 巨大翼竜は飛べたのか スケールと行動の動物学. 平凡社新書. Pp279 (2011)
- ・内藤靖彦, 佐藤克文, 高橋晃周, 渡辺佑基. バイオリギング「ペンギン目線」の動物行動学. 成山堂書店. Pp182 (2012)
- ・佐藤克文, 森阪匡通. サボリ上手な動物たち: 海の中から新発見! 岩波科学ライブラリー. Pp118 (2013)

マスメディア)

- ・テレビ: 2011年1月30日、NHK「アインシュタインの眼」の中で開発途上にある水中ビデオカメラを使った水族館実験の様子が紹介された。
- ・ラジオ: 2011年10月19日、TBSラジオ「夢★夢 engine!」にてバイオリギングの研究成果が紹介される。
- ・テレビ: 2011年10月29日、NHK総合テレビ「サイエンスZERO 野生動物の素顔が見えた! ~驚きのバイオリギング~」の中で研究内容が紹介された。
- ・新聞: 読売 KODOMO 新聞(2012年2月16日)「動物がカメラマン」という特集記事にてバイオリギング研究が紹介される。
- ・ラジオ: 2012年9月29日および10月6日、文化放送 AM ラジオ1134「大村正樹のサイエンスキッズ出張授業」にて、岩手県沿岸で進められている研究の成果が紹介される。

学会発表)

- ・2011年3月12日から18日にかけてオーストラリアのタスマニア島ホバートにおいて開催された第4回バイオロギング国際シンポジウムにおいて、ワークショップ“The use of visual media with data in Bio-logging”を主催し、その中で、Trial to develop tiny cameras という発表を行った。
- ・K. Sato, I. Nakamura and C. Meyer. Function of ‘Yo-Yo’ vertical movements of pelagic sharks. Joint Symposium on Ocean, Coastal, and Atmospheric Sciences, Hawaii, Japan, June 13-15, 2012.
- ・K. Sato. Do animals hesitate to do their best? (Key note speech) The Fifth International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanisms ISABMEC, Taipei, Taiwan, August 25-28, 2012.
- ・K. Aoki, M. Sakai, P. J. O. Miller, K. Sato. Body contacts and synchronized swimming of pilot whales recorded by using animal-borne recorders. 19th Biennial Conference of the Biology of Marine Mammals. Tampa, November, 2011.
- ・米原善成, 塩見こずえ, 佐藤克文. 動物搭載型記録計から明らかになったオオミズナギドリの飛翔特性. 第60回日本生態学会, 静岡県コンベンションアーツセンター, 2013年3月.
- ・小暮ゆきひさ, 佐藤克文, Francis Daunt, 綿貫豊. 首の運動と映像記録からみる潜水性海鳥の採餌行動. 日本生態学会第60回全国大会, 静岡, 2013年3月.
- ・青木かがり・天野雅男・森恭一・岡本亮介・窪寺恒己・佐藤克文. 画像ロガーで記録されたマッコウクジラの捕獲行動. 平成24年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2013年3月.

講演会など)

- ・2011年12月23日から2012年3月4日にかけて、上野の国立科学博物館において、企画展「バイオロギングサイエンス」を実施した。60日間の開催期間中に計110,843人の入場者があった。
- ・2012年7月21日から9月2日まで、神戸市立須磨海浜水族園と楽特別展示室において、「研究最前線：バイオロギング」として研究紹介パネルが展示された。
- ・佐藤克文 「本気を出さない野生動物」、岩波市民セミナー、2012年4月10日,17日,28日、岩波書店アネックス。
- ・青木かがり 「カメさんが見る海の世界」、私立中学説明会・教育セミナーとワークショップ、2012年5月20日、国際フォーラム
- ・佐藤克文 「本気を出さない野生動物？」第58回サイエンスカフェにいがた、2012年4月28日、ジュンク堂書店新潟店。
- ・佐藤克文 「野生動物の暮らしぶりから見えてきたこと」第405回国際治療談話会例会、2012年7月19日、学会館。
- ・佐藤克文 「バイオロギングがもたらす新しい海洋情報」東京大学海洋アライアンス第7回東京大学の海洋研究 人と海のかかわりの将来像、2012年7月24日、農学部弥生講堂「一条ホール」。
- ・佐藤克文 「サボり上手な動物たち-海の世界で新発見」第50回北海道高等学校教育研究大会理科部会 全体講演、2013年1月10日、私立札幌大通高等学校。
- ・佐藤克文 「時間厳守のオオミズナギドリと活発なマンボウ」、震災復興・国立科学博物館コラボミュージアム in 宮古「恐竜時代の海 vs 陸」トークイベント、2013年1月20日、岩手県立水産科学館
- ・青木かがり 「深海のハンター ダッシュするマッコウクジラ」、震災復興・国立科学博物館コラボミュージアム in 宮古「恐竜時代の海 vs 陸」トークイベント、2013年1月20日、岩手県立水産科学館