

令和 4 年 2 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12813

研究課題名(和文)大型鯨類をバイオセンサーとした中深層生態系観測

研究課題名(英文)Environmental monitoring of mesopelagic ecosystem using marine top predators as an indicator

研究代表者

青木 かがり (Aoki, Kagari)

東京大学・大気海洋研究所・助教

研究者番号：60526888

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：海洋の高次捕食者である鯨類の栄養状態はその海域の生産性に大きく影響を受け、その動態は優れた環境応答の指標となる。しかし、広大な海洋で自由に動く鯨類の栄養状態を、殺さずに調べることは難しい。また、水面と中深層を高頻度で往復する大型ハクジラ類は効率的な海洋観測のプラットフォームとなり得る。本研究では、鯨類の行動や栄養状態の変化を指標とし、海洋生態系をトップダウン的に観測する手法を確立することを試みた。具体的には、動物に記録計を装着するバイオロギング手法を用い、次の三つの課題に取り組んだ。1) 非侵襲的な鯨類の肥満度推定手法の開発、2) マッコウクジラの長期追跡、3) ハクジラ類の捕食行動の観測。

研究成果の学術的意義や社会的意義

広大な海洋で、動物が変化する環境にどのように応答するのか把握することは難しい。動物に記録計を装着しその行動を記録するバイオロギングは、動物の環境応答を直接計測できる。また、一部の鯨類ではかつての商業捕鯨により個体数が激減し、さらに近年では海中騒音や漁業による混獲など、人間活動の影響を大きく受ける。海洋生態系のピラミッドを上位から支える役割を持つ高次捕食者が危機的な状況に追い込まれると、その影響が生態系下位の動植物の増減に影響を及ぼし、海洋生態系全体のバランスが崩れ壊滅的な影響を被る恐れがある。海洋の高次捕食者である鯨類の栄養状態や動態を知ることにより、海洋の健全性を評価できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Behavioral responses and body conditions of marine top predators can be good indicators of environmental changes in marine ecosystem. However, it is challenging to investigate the body conditions of free-ranging whales in the ocean without killing them. In addition, deep-diving toothed whales, that reciprocate between the sea surface and the mesopelagic zone, can be an efficient platform to monitor the surrounding environment. Here we focused on the three topics to establish a method to measure the environmental responses of cetaceans: 1) non-invasive monitoring methods to estimate seasonal changes in body condition of humpback whales at feeding grounds using aerial photogrammetry and tag-derived tissue density, 2) long-term monitoring behaviors of sperm whales and 3) monitoring feeding behavior of toothed whales using animal-born recorders. Our final goal is to establish to monitoring methods of ocean health via the environmental responses of marine top predator as indicators.

研究分野：鯨類の行動生態

キーワード：海生哺乳類 高次捕食者 鯨類 海洋生態系 中深層生態系 バイオロギング 肥満度 採餌行動

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

食物連鎖の上位に位置する高次捕食者の栄養状態や動態は、餌となる低次の生物量や質なども含めて海洋生態系の健全性の指標となる。多くの動物にとって、生き残る上でも自分の子供を残す上でも、エネルギーを蓄積することは欠かせない。哺乳類では、主に脂質がエネルギー貯蔵の役割を果たす。栄養状態が良ければ、突然の環境の変化にも耐え抜くことが出来るだろうし、余裕を持って子供を産み育てることが出来るだろう。海洋生態系における高次捕食者である海生哺乳類の栄養状態は、気候変動や人間活動の影響も受けるため、彼らが受けている負荷の度合いを示す重要な指標となる。しかし、広大な海洋で自由に動き回る鯨類の栄養状態を、非致命的な方法で連続的に調べることは難しい。かつては、捕鯨によって得られた死体を解剖するなどの手法で、皮下脂肪の厚さなどの肥満度は測定されていた。しかし、捕獲して解剖するというやり方を鯨類のような大型動物に用いるのは難しく、さらに商業捕鯨が多くの国で行われていない現在、致命的な方法で調べることは非現実的であることが多い。そこで本研究では、動物に動物装着型記録計を搭載するバイオリギング手法とドローンにより上空から撮影した画像を組み合わせることで、

1) 鯨類の肥満度を非侵襲的に推定する手法の開発に取り組んだ。

また、水面と中深層を高頻度で往復する大型ハクジラ類は効率的な海洋観測のプラットフォームとなりうる。人工衛星による水温観測網はあるが、電磁波は海中を透過しないため表層より下の水温は観測できない。水面下の水温情報を取得するために、水面と深度2000mを往復する自動昇降型アルゴブイを用いた水温観測が急速に進められているが、ブイは海流によって漂流するため、特定海域を観測するのには向いていない。相補的な観測手段として、海洋を自律能動的に動き回る野生動物が用いられている。例えば、深度200mまでの潜水を繰り返すウミガメ類が計測した現場の水温分布を計算機内の物理モデルにデータ同化することで、測定していない箇所も含めて広い海域の海洋物理環境の予測値を大幅に改善するという結果が得られている(Doi et al. 2019)。さらに、深度1000メートルを超える水温鉛直分布を物理モデルにデータ同化することで、予測精度がさらに向上することも見込まれている。本研究では、より深い潜水を行うマッコウクジラを利用し、個体の移動を長期的に追跡、重要な海域を把握すると同時に水温鉛直分布をリアルタイムで取得することを目指し、2) 衛星発信機の長期装着手法を確立することも目的とした。

2. 研究の目的

中深層は地球表層圏の大部分を占めるにも関わらず、中深層生態系を統合的に観測する手法はない。水面と中深層を高頻度で往復する大型ハクジラ類は効率的な海洋観測のプラットフォームとなりうる。それとともに、食物連鎖の頂点に立つ高次捕食者の動態は、優れた環境応答の指標となる。具体的には、高次捕食者が何をどれだけ食べるのか？環境変動や個々の状態(栄養状態等)によってその捕食量はどのように変化するのか？その動態は、生息環境の健全性の指標にもなりうる。海洋生態系を観測する手法を確立する上で最も重要な点は、物理環境の変化のみならず、変化した物理環境における動物の応答を把握することだと考えられる。本研究では、食物連鎖の頂点に立つ鯨類の行動や栄養状態の変化を指標として、海洋生態系をトップダウン的に観測する手法を確立することを目指し、次の三つの課題に取り組んだ。1) 鯨類の肥満度を非侵襲的に推定する手法の開発、2) 鯨類の移動経路や潜水行動の長期追跡、3) 水生動物の生息域を大きく左右する餌環境の情報を動物自身によって取得する加速度波形プログラムの構築。最終的には、食物連鎖の頂点に立つ鯨類の行動や栄養状態の変化を指標として、海洋生態系をトップダウン的に観測する手法を確立することを目指している。本課題で取り組んだ上記三つの課題の成果に関して結果に記す。

3. 研究の方法

下記の三つの課題について、それぞれ示す。

1) 鯨類の肥満度を非侵襲的に推定する手法の開発：遊泳行動とドローン画像から推定した、採餌域におけるザトウクジラの肥満度の季節変化

野外調査は、比較的動物への接近が容易なザトウクジラを対象とし、共同研究者の協力が得られる、カナダ沖合とノルウェー沖合で実施した(図1a)。ドローンを用いてクジラの上空から撮影した画像と(図1b)、動物に記録計を取り付けるバイオリギング手法を組み合わせ、ザトウクジラの肥満度の指標である体密度を推定した(Miller et al., 2016, Narazaki et al., 2018を参照)。脂肪は水に比べて密度が小さいので、栄養状態が良く太った個体は浮きがちに、ほっそりした個体は沈みがちになると予想される。動物の体脂肪率は体全体の密度に反映され、泳ぎ方や移動コストに影響を与える。動物装着型記録計(W-3MPD3GT リトルレオナルド社 またはウッズホール D タグ)をザトウクジラに装着し、遊泳深度、速度、3軸加速度、地磁気に関する時系列データを得た。階層ベイズモデルにより、二つの観測値から真の体密度(以下、体密度)を推定した。個体が滑空中の抗力と浮力の差から計算される加速度を、体密度 $800\text{--}1200\text{ kg m}^{-3}$ 、空気量 $0\text{--}80\text{ mL kg}^{-1}$ の間でシミュレーションし、実際の加速度と比較して最も近くなるように体密度を求めた(Aoki et al., 2021)。ドローンで撮影された画像から、体表全体が写っている写真を選択し、投影面積を体長で除することで、面積を標準化した。個体の泳ぎ方から推定した体密度をドローンで撮影した写真から測定した肥満度と比べて推定精度を検証した(Aoki et al., 2021)。その後、両者の測定値を組み合わせ、個体毎の体密度を統計学的に推定した。個体の性別や繁殖状態はバイオプシーサンプルや、仔クジラの帯同などの目視観察によって決定された。

2) 衛星発信機を用いたマッコウクジラの長期的な移動と行動の把握

長期的な移動経路と行動の把握を目指し、五島列島周辺海域において、マッコウクジラの若オスを対象に衛星発信機の装着を試みた(図2)。2018年においては空気銃を用い、衛星発信機(splash-10-292A, wildlife computer, 米国)の装着を行なった。2019年と2020年には、より長期の追跡を目指し、空気砲システム(Aerial Rocket Transmitter System, ARTS, Kleivane, 1998)を取り入れ、より銚先の大きい衛星発信機の装着を試みた(spot-303F, または Splash-302, wildlife computer, 米国)。

3) 動物装着型記録計や動物ビデオを用いたハクジラ類の捕食行動の観測

鯨類の採餌行動を知るために、餌捕獲の瞬間を特定することは重要である。動物装着型記録計を用いた研究では、餌に接近する際に出される音(Miller et al. 2004)や突進行動(Aoki et al. 2012)が捕獲行動の指標として用いられている。しかし、実際にその餌を捕獲できたのか、或は捕獲に失敗したのかは分からない。本研究では飼育下のハナゴンドウに動物装着型記録計(データロガー)を装着し、捕獲時に特異的な加速度波形を特定することを目的とした。

太地くじらの博物館にて、飼育個体を対象とした実験を行った。実験に先立ち、実験対象個体への加速度ロガー(ORI400-D3GT, リトルレオナルド社)の吸盤装着への順化を実施した。順化の過程で吸盤の装着を忌避しないと認められる個体のみを実験に用いた。飼育下のハナゴンドウ2頭を対象に実験を行った。2つの異なる装着位置(喉元付近と胸ビレ後方)に、加速度ロガーを搭載した吸盤タグを同時に取り付けた。実験の様子をビデオを用いて撮影した。餌は解凍したスルメイカを用いた。5m四方の生簀内で個体が自由に遊泳できる状況で、投餌を行い、加速度ロガーの記録と擦り合わせ、捕獲に特異的な波形を検出することを試みた。

4. 研究成果

1) 鯨類の肥満度を非侵襲的に推定する手法の開発: 遊泳行動とドローン画像から推定した、採餌域におけるザトウクジラの肥満度の季節変化

計70個体に動物装着型記録計を装着し732時間の行動データを得た。また計55個体を、ドローンによって上空から撮影し投影面積を得た。このうち21個体は動物装着型記録計を装着した個体であった(図1c)。二つの手法で得られた推定値を比較したところ、予想通り、投影面積のより大きい個体がより体密度が低い(肥満度が高い)という妥当な結果が得られ、クジラの泳ぎ方から推定した体密度が確からしいことが検証された(図1c)。北半球のザトウクジラは夏季に高緯度の海で摂餌し、冬から春にかけて低緯度の暖かい海で繁殖を行う(図1a)。回遊中と繁殖期間中は積極的に摂餌を行わないため、高緯度の摂餌海域でどれだけ餌を食べることが出来たのかが、生存や繁殖成功を左右する。同じ繁殖海域を利用しているザトウクジラのなかにも、約1万キロ先の摂餌海域を利用する個体と、約5千キロ先の摂餌海域を利用する個体が混在している(図1a)。予想通り、繁殖海域から長距離回遊の末に摂餌海域に戻ったばかりの肥満度は、より遠くの摂餌海域の方が低かった(図1d、カナダ沖合の個体に比べノルウェー沖合の個体 $+5.0 \text{ kg m}^{-3}$)。高緯度の摂餌海域にいる間、推定された肥満度には順調に太っていく季節推移が現れていた(-2.7 kg m^{-3} per 100日, 図1d)。しかし、遊泳行動から推定した体密度は、両海域のいずれの個体も周囲の海水より密度が高くなっていった(ノルウェー $1027.3 \pm 0.7 \text{ kg m}^{-3}$; カナダ $1023.3 \pm 2.0 \text{ kg m}^{-3}$)。海生哺乳類にとって、浮きも沈みもしない中性浮力が最も効率よく移動できることが示唆されており(Sato et al. 2013)、どちらの海域でも中性浮力から大きく外れる程、低密度になるわけではなかった。回遊に適した中性浮力近くに肥満度が調節されていることが推察された。

また、妊娠または授乳中以外の成熟メスと成熟オスの体密度に差異はなかった(メス $1037.4 \pm 1.1 \text{ kg m}^{-3}$; オス $1037.2 \pm 1.2 \text{ kg m}^{-3}$)。メスの肥満度は妊娠や授乳によって、大きく左右された(図1d)。妊娠中のザトウクジラの肥満度は全ての個体の中で最も高かった(-3.5 kg m^{-3} 、肥満度が高いことを意味する)。一方、繁殖海域からの長旅のすえ摂餌海域まで戻ってきたばかりの授乳中のメスが最も痩せていた($+6.0 \text{ kg m}^{-3}$)。授乳中の個体の体密度は他の個体と同様に体密度が低下する季節推移がみられたものの、摂餌期を通して、妊娠も授乳もしていないメスやオスより肥満度が低かった(図1d)。数カ月間の摂餌では、授乳などの育児に関連する行動で低下した栄養状態を回復させることは困難であることが推察された。妊娠中と授乳中の体密度の差から次の妊娠までに必要な期間をおおまかに推定すると、カナダ沖合では4年ほど、普通より摂餌期が長いノルウェー沖合でも2年ほど必要であることが推察された。一方、南極を摂餌海域としている一部の個体群では、半数程度のメスが毎年出産することが報告されている。今後、気候変動と海域毎の繁殖成功との関連を継続的にモニタリングすることが期待される。

2) 衛星発信機を用いたマッコウクジラの長期追跡の試み

2018年度に、マッコウクジラの若オス二頭から行動データを得た。1頭は5月下旬から約1か月間にわたって(個体番号1)、もう1頭は7月下旬から約一週間にわたって追跡した(個体番号2)。計140地点で、水温・行動データを取得した。両個体ともに、衛星発信機を装着していた期間に、他の海域に移動することはなかった。個体1では、追跡していた期間、30km四方の非常に狭い範囲で移動を繰り返しており(図2a)、個体2でも同様の傾向がみられた。

位置データと共に、滞在深度と経験水温データを取得した個体1に関して詳細を

示す(図2)。衛星発信機装着期間中に、水面から深度700mにかけての水温鉛直分布が得られた(図2b)。時間帯別の滞在深度の頻度分布を図2cに示す。夕方や夜間では、深度400-500mへの滞在時間が比較的長く(図2c、パネルCとD)、これらの深度帯で採餌を行っていたと考えられる。一方、夜明け前から昼過ぎにかけては、深度10mあるいは深度500-600mにかけての滞在時間が比較的長く、水面での休息または社会行動、日中よりやや深い深度で採餌を行っていたと考えられた(図2c、パネルAとB)。

2019年度には、より長期の装着を目指すために、衛星発信機の銚先を大型化し(型番Spot-303FまたはSplash-302, wildlife computer, 米国)、空気砲での取り付けを試みた。衛星発信機取り付けのためのキャリアは、衛星発信機と同様にwildlife computer社製のものを使用した。調査に先がけ、陸上での試射を実施した。15気圧の空気を充填、距離9mで厚さ約50cmの段ボール製の的に、ダミーの衛星発信機を用いて試写を実施した。衛星発信機全長30cmのうち三分の二が突き刺さることを確認した。野外調査では、装着を一度試みるのができたものの、装着後すぐに脱落してしまった。早期脱落の要因として、発砲時の空気圧の低下、キャリアと衛星発信機の固定が緩んだ可能性が考えられた。それ以降は海況に恵まれず、衛星発信機の実験は試みることはできなかった。

中深層へ潜水を行う大型ハクジラ類の移動経路や行動、肥満度の変化を長期にわたって把握するためには、長期の追跡が必要不可欠である。本研究期間中にマッコウクジラへの1ヶ月以上の長期の装着手法を確立することはできなかったものの、大型ハクジラへ衛星発信機を装着することで、その移動・潜水行動データと共に、中深層にかけての水温情報を得られることを示した。引き続き、装着手法を改良し、長期データを安定して取得できるよう手法の確立を目指す予定である。

3) 動物装着型記録計や動物ビデオを用いたハクジラ類の捕食行動の観測

2個体のハナゴンドウ(個体名 マロン、ハマタ)を対象に、生け簀内で自由に遊泳可能な状態で実験を行った。1回の実験で、投餌を10回行った(図3)。喉元付近に装着した加速度ロガーによって得られたデータから、捕食に由来すると考えられる周波数を特定することができた(図4)。胸ビレ付近に装着した加速度ロガーによって得られた加速度データでは、捕食に由来すると考えられる加速度成分は喉元付近に比べ、不明瞭であったものの、波形を特定することができた(図4)。

今後の展望

大型ハクジラ類への記録計の長期装着を実現し、遊泳行動から肥満度を推定するプログラムを衛星発信機に搭載することで、海洋高次捕食動物である鯨類の栄養状態や行動を指標として、日本周辺海域における中深層生態系をトップダウン的に観測することが可能になると考えられる。本研究により確立した非侵襲的な肥満度推定手法は、高次捕食者目線の海洋環境モニタリングシステムの実現に貢献するものと思われる。

引用文献

- Aoki K, Amano M, Mori K, Kourogai A, Kubodera T, Miyazaki N, (2012). Active hunting by deep-diving sperm whales: 3D dive profiles and maneuvers during bursts of speed. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 444: 289–301.
- Aoki K, Sato K, Isojunno S, Narazaki T, Miller PJO. (2017) High diving metabolic rate indicated by high-speed transit to depth in negatively buoyant long-finned pilot whales. *J. Exp. Biol.* 220, 3802-3811. (doi:10.1242/jeb.158287)
- Aoki K, Isojunno S, Bellot J, Iwata J, Kershaw J, Akiyama Y, Martín López LM, Ramp C, Biuw M, Swift R, Wensveen P, Pomeroy P, Narazaki T, Hall A, Sato K, Miller PJO. (2021) Aerial photogrammetry and tag-derived tissue density reveal patterns of lipid-store body condition of humpback whales on their feeding grounds. *Proc. Roy. Soc. B* 288: 20202307. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2307>.
- Doi, T., A. Storto, T. Fukuoka, H. Suganuma, and K. Sato (2019) Impacts of Temperature Measurements From Sea Turtles on Seasonal Prediction Around the Arafura Sea. *Front. Mar. Sci.*, 6, 1–11.
- Kleivane L. (1998) A New Pneumatic Launching Device ARTS (Aerial Rocket Transmitter System) Especially Developed and Designed to Improve Tagging and Instrumentation of Baleen Whales. Bodø, Norway: Restech A/S
- Miller PJO, Johnson MP, Tyack PL (2004) Sperm whale behavior indicates the use of echolocation click buzzes ‘creaks’ in prey capture. *Proc Biol Sci* 271:2239–2247.
- Miller PJO, Narazaki T, Isojunno S, Aoki K, Smout S, Sato K. (2016) Body density and diving gas volume of the northern bottlenose whale (*Hyperoodon ampullatus*). *J. Exp. Biol.* 219, 2458-2468. (doi:10.1242/jeb.137349)
- Narazaki T, Isojunno S, Nowacek DP, Swift R, Friedlaender AS, Ramp C, Smout S, Aoki K, Volker BD, Sato K, Miller PJO. (2018) Body density of humpback whales (*Megaptera novaengliae*) in feeding aggregations estimated from hydrodynamic gliding performance. *PLoS ONE* 13, e0200287 (doi:10.1371/journal.pone.0200287)
- Sato K, Aoki K, Watanabe YY, Miller PJO. (2013) Neutral buoyancy is optimal to minimize the cost of transport in horizontally swimming seals. *Sci. Rep.* 3, 2205. (doi:10.1038/srep02205)

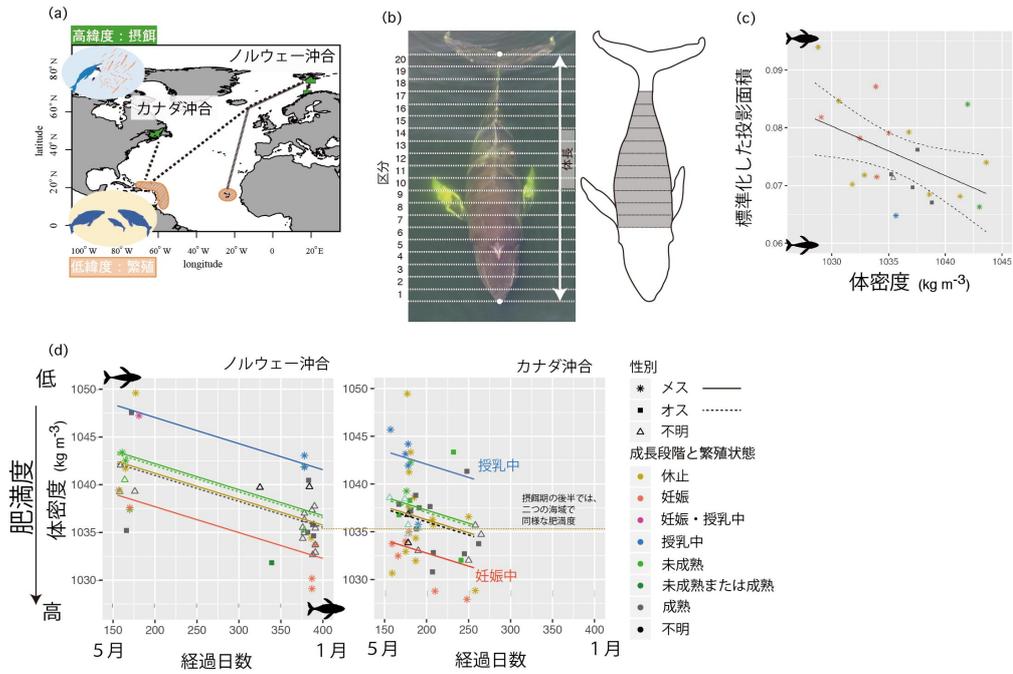


図1. 遊泳行動とドローン画像から推定した採餌域におけるザトウクジラの肥満度の季節変化。(a) 調査地(緑色).二つの異なる摂餌海域(カナダ沖合とノルウェー沖合)で調査を実施した. 主な繁殖海域(オレンジ色)は, 西インド諸島周辺である.(b) ドローンを用いてクジラの上空から撮影した画像. 体長により標準化した投影面積を肥満度の指標として用いた. 灰色が使用した区分を示す.(c) 標準化された投影面積と体密度との関連. 投影面積が大きいほど(太って見えるほど), 体密度が低い. シンボルの凡例は(d)と同様.(d) 各調査地における肥満度の季節推移. 各点が1個体を示す. ドローンにより推定した肥満度と遊泳行動から計算した体密度を組み合わせ, 統計学的に個体毎に体密度を推定した. 実線と点線は数値モデルによる予測値を示す.

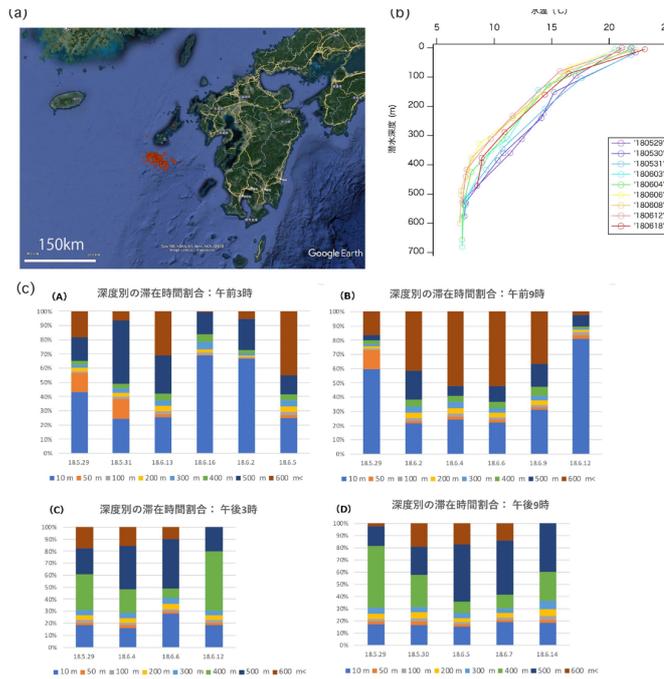


図2. 衛星発信機により得られたマッコウクジラ(個体番号1)の装着期間約1ヶ月の経験水温, 行動データ.(a) 出現位置.(b) 水温鉛直プロファイル.(c) 深度別の滞在時間割合. 6時間毎に集計された. データが得られた全日を示した. 深度700mに滞在した時間割合は非常に小さかったため, 深度600mの滞在時間割合と合算した. 深度800m以深の滞在記録はなかった.



図3. 記録計を左体側と喉元付近に装着したハナゴンドウ

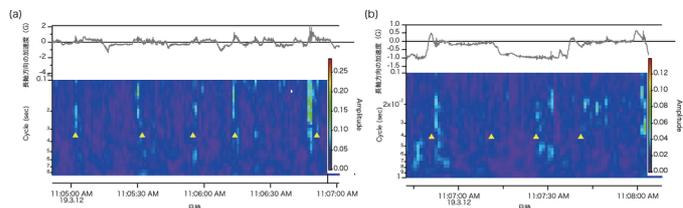


図4. ハナゴンドウ(個体ハマダ)の装着した加速度ローガーより得られた長軸方向の加速度データのスペクトラム. 黄色三角付近で餌を飲み込んだ.(a) 喉元に装着. 捕食に由来すると考えられる周波数が3-10Hz付近に見られた.(b) 体側(左胸ビレ後方)に装着. 捕食に由来すると考えられる加速度成分は喉元付近に比べ, やや不明瞭.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kagari Aoki, Saana Isojunno, Charlotte Bellot, Takashi Iwata, Joanna Kershaw, Yu Akiyama, Lucia M. Martin Lopez, Christian Ramp, Martin Biuw, Rene Swift, Paul J. Wensveen, Patrick Pomeroy, Tomoko Narazaki, Ailsa Hall, Katsufumi Sato, Patrick J. O. Miller	4. 巻 288
2. 論文標題 Aerial photogrammetry and tag-derived tissue density reveal patterns of lipid-store body condition of humpback whales on their feeding grounds.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the Royal Society B	6. 最初と最後の頁 20202307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rspb.2020.2307	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Saana Isojunno, Kagari Aoki, Charlotte Cure, Petter Helgevd Kvadsheim, Patrick J.O. Miller.	4. 巻 9
2. 論文標題 Breathing patterns indicate cost of exercise during diving and response to experimental sound exposures in long-finned pilot whales	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 1462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2018.01462	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Tomoko Narazaki, Saana Isojunno, Douglas P Nowacek, Rene Swift, Ari S Friedlaender, Christian Ramp, Sophie Smout, Kagari Aoki, Volker B Deecke, Katsufumi Sato, Patrick J.O. Miller.	4. 巻 13
2. 論文標題 Body density of humpback whales (Megaptera novaeangliae) in feeding aggregations estimated from hydrodynamic gliding performance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0200287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0200287	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Aoki Kagari, Sato Katsufumi, Isojunno Saana, Narazaki Tomoko, Patrick J.O. Miller.	4. 巻 220
2. 論文標題 High diving metabolic rate indicated by high-speed transit to depth in negatively buoyant long-finned pilot whales	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of Experimental Biology	6. 最初と最後の頁 3802 ~ 3811
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/jeb.158287	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Aoki K, Isojunno S, Charlotte B, Iwata T, Kershaw J, Martin Lopez LM, Ramp C, Biuw M, Akiyama Y, Swift R, Wensveen P, Narazaki T, Sato K, Miller PJ0.
2. 発表標題 Photogrammetry supports tag-derived tissue density as a proxy for body condition: Seasonal and locational changes in body condition of humpback whales on their feeding grounds.
3. 学会等名 The 23rd Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Spain, December 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋山優, 赤松友成, Marianne H. Rasmussen, 岩田高志, 青木かがり, Patrick J.O. Miller, Martin Biuw, Christian Ramp, 佐藤克文.
2. 発表標題 採餌海域におけるザトウクジラの行動時間配分と活動様式.
3. 学会等名 平成31年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kagari Aoki, Katsufumi Sato, Saana Isojunno, Tomoko Narazaki, Patrick J.O. Miller
2. 発表標題 Does buoyancy affect optimal swim speed? High-speed transits to depth in negatively buoyant long-finned pilot whales
3. 学会等名 The 6th International Bio-logging Science Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Saana Isojunno, Kagari Aoki, Patrick J.O. Miller.
2. 発表標題 Breathing patterns indicate recovery time and exercise modulated diving costs in long-finned pilot whales
3. 学会等名 The 6th International Bio-logging Science Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Iwata T., Aoki K., Miller P.J.O., Biuw M., Williamson M and Sato K.
2. 発表標題 A Humpback Whale Utilize Fishing Boats to Foraging on Herring
3. 学会等名 The 22nd Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 檜崎友子, Saana Isojunno, Douglas Nowacek, Rene Swift, Ari Friedlaender, Christian Ramp, Sophie Smout, 青木かがり, 佐藤克文, Patrick J.O. Miller.
2. 発表標題 グライド中の加速度から推定した採餌期ザトウクジラの体密度
3. 学会等名 第13回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青木かがり, 岩田高志, Joanna Kershaw, Martin Biuw, 秋山優, 佐藤克文, Patrick J.O. Miller.
2. 発表標題 太ったザトウクジラは採餌しない?
3. 学会等名 第13回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 秋山優, 赤松友成, Marianne H. Rasmussen, 岩田高志, 檜崎友子, 青木かがり, Patrick J.O. Miller, Martin Biuw, 佐藤克文
2. 発表標題 ザトウクジラの休息時間はなぜ陸棲大型草食動物のように短いのか
3. 学会等名 第65回日本生態学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	天野 雅男 (Amano Masao)	長崎大学大学院・水産・環境科学総合研究科	
研究協力者	ミラー パトリック (Miller Patrick J.O.)	セントアンドリュース大学・School of Biology	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------