

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月20日現在

機関番号：62603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18617

研究課題名(和文)動物搭載型高度情報機器を活用した潜水動物の採餌戦略の解明

研究課題名(英文) Understanding the foraging strategy of diving seabirds using animal-borne data loggers

研究代表者

山本 誉士 (Yamamoto, Takashi)

統計数理研究所・データ同化研究開発センター・特任研究員

研究者番号：70637933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：アルゼンチンで繁殖する潜水採餌に特化したマゼランペンギンと、飛翔・潜水採餌をおこなうキバナウに動物装着型データロガーを装着して、繁殖期と非繁殖期の採餌行動と移動を記録した。これまでの解析では、マゼランペンギンの非繁殖期の移動生態について明らかにし、体サイズの違いに伴う潜水能力および温度耐性の差が、空間利用の性差に起因している可能性を示した。一方、キバナウは非繁殖期にはほとんど移動せず、潜水に特化したマゼランペンギンと飛翔・潜水採餌をおこなうキバナウでは、採餌におけるコストとベネフィットの違いが空間利用の特徴(生息分布)に影響していると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マゼランペンギンは冬になると毎年数千羽がストランディングし、特にメスで死亡率が高い。本研究の結果、マゼランペンギンの非繁殖期の利用海域には雌雄差がみられ、メスが主に越冬している海域は、船舶の往来や油田開発、漁業などの人間活動が盛んな海域と重複していることが明らかになった。マゼランペンギンは、一部の繁殖地で近年個体数の減少が危惧されている。これまで種の保全に関する議論や活動では、多くの場合、繁殖期の生息域のみが考慮されている。本研究の成果は、生物の保全において繁殖期・非繁殖期を含む1年を通じた生息域の特定の重要性、そして空間分布動態の種内差を考慮した保全海域設定の必要性を提唱した。

研究成果の概要(英文)：I examined foraging behavior and at-sea distributions of Magellanic penguins and Imperial cormorants breeding in Argentina, which are a specialist diver and a flying-diving seabird respectively, during the breeding and non-breeding periods using animal-borne data loggers. By analyzing data, at-sea distributions of Magellanic penguins during the non-breeding period have been revealed, and found to exhibit the sexual differences, which probably related to differences in diving ability, thermal habitat preference, or the ability to withstand the ocean circulation, owing to sexual size dimorphism. On the other hand, a previous study reported that Imperial cormorants did not show a large-scale movement during the non-breeding period. Such the comparative movement patterns between these species may expect differences in the cost-benefit balance for foraging behavior, which possibly determines their spatial utilization characteristics.

研究分野：行動生態学

キーワード：保全 行動計測 バイオロギング 非繁殖期 採餌行動 空間動態

1. 研究開始当初の背景

潜水性鳥類は厳しい制約下で採餌を行う。まず、特徴の少ない海洋を移動して、良い餌場を探さなくてはならない。次に、餌を探すため酸素を体内に積み込んでから潜水し、潜水後には休息する必要がある。また、深くまで潜水する動物は、視覚情報の不足をうまく補わなくてはならない(餌生物より深く潜水し、上昇しながら探索して魚影を手がかりにする等)。さらに、浮力に逆らって潜水する必要があるため、相応のエネルギーを消耗することになる。それらの制約に対して潜水動物がどのように採餌を行なっているのか、その適応戦略については行動学、生理学、物理学のそれぞれの側面から様々な研究がおこなわれ、断片的に情報が集約されてきた。しかし、実際に野外における潜水動物のファインスケールの行動記録や環境データ取得の困難さから、多くの先行研究では理論が先行しており、その実証がされていない。本研究課題で対象とするマゼランペンギンとキバナウは共に類まれな潜水能力と水平移動力を持つ上、捕獲とデータロガーの装着が容易である為、しばしば潜水研究のモデル動物と呼ばれる。これら2種の採餌行動を比較することで、エネルギーコストの観点から鳥類の潜水採餌への適応、そして潜水採餌性海鳥の生息分布・分散要因についても明らかにできると期待される。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、最先端の各種データロガーを潜水に特化したペンギン類と飛翔・潜水採餌をおこなう類に同時搭載することにより、彼らの採餌行動を調べる。そして、採餌行動の異なるそれら2種が、どのように餌探索・捕獲にかかるコストと得られる利益とのバランスをとっているのかを明らかにすることで、潜水行動をエネルギー経済的観点から評価し、潜水採餌戦略の適応進化について明らかにする。

3. 研究の方法

アルゼンチンにあるキバナウとマゼランペンギンの繁殖地で野外調査を実施し、複数のデータロガー(深度・加速度・GPS・ビデオカメラ)を繁殖個体に同時装着する。そして、数日後に装着個体を再捕獲してデータロガーを回収し、記録されたデータをダウンロードする。データ解析として、加速度センサーに記録される3軸方向の運動量を積算し、採餌トリップ中の潜水や飛翔(キバナウの場合)に使用するエネルギー収支量(コスト)を算出する(Overall Dynamic Body Acceleration)。また、GPS・潜水センサーを用いることで、水平移動コストや鉛直移動コストを計算する。また、ビデオロガーにより得られた画像情報(餌種・同種個体・他種個体・環境情報など)から、採餌トリップ中の獲得エネルギー(カロリー)の計算および採餌効率に影響する要因を明らかにする。これらの超高精度データ(1/16秒~数秒)を同期することにより、潜水動物の採餌戦略について統合的な解析を行う。さらに、既存の理論モデルと合わせて考察することで検証および新たな理論の構築に挑戦する。

4. 研究成果

2016年および2017年の11月~12月にかけて、アルゼンチンにあるキバナウの繁殖地 Punta León (43° 04' S, 64° 2' W) およびマゼランペンギンの繁殖地 Cabo Dos Bahías (44° 54' S, 65° 32' W)において野外調査を実施した。Punta León では、2016年度の調査で、加速度・深度・GPSを記録するデータロガー(AXY-trek)をキバナウ41羽に装着し、翌日に再捕獲して回収することで採餌行動のデータを取得した(図1)。また、10羽に対して、AXY-trekとビデオロガーを同時装着することで、餌種などの画像情報を併せて取得した(図2)。Cabo Dos Bahías では、2016年度の調査で、AXY-trekもしくはビデオロガーを20羽に装着した。また、非繁殖期の移動を明らかにするため、環境照度を記録するジオロケータを20羽に装着し、翌年2017年度の調査で17羽を再捕獲して回収した(図3)。

これまでの解析結果として、両種の年間を通じた空間利用を明らかにするため、マゼランペンギンの非繁殖期の移動を明らかにした。マゼランペンギンに装着したジオロケータは環

境照度を1年以上記録することができ、装着個体が滞在した場所の日長時間（日の長さ）と南中（正午）時刻の情報から、それぞれ緯度と経度を推定することができる。ジオロケータに記録されたデータを解析した結果、マゼランペンギンは非繁殖期になると繁殖地から北上し、アルゼンチン北部からブラジル南部沖の海域まで移動することが明らかになった。興味深いことに、非繁殖期には空間利用に雌雄差がみられ、メスはオスよりも遠くの海域まで移動していた（図4）。雌雄差の原因として、本種のオスとメスでは体の大きさが違うことが関係していると考えられる（オスはメスよりも体が大きい）。一般的に、体の大きい個体ほど水中を深く長く潜ることができる。照度と併せてジオロケータに記録された潜水深度データから、実際に非繁殖期のメスはオスよりも浅い深度で餌を探っていることが示された（図4）。このことから、メスは潜水能力の高いオスとの餌を巡る競争を避けるため、さらに遠くまで北上しているのだと考えられる。その他の可能性として、体の小さなメスは水中でより体温を失いやすいため、低緯度の水温の暖かい海域を好んでいる可能性が考えられる。これは、潜水に特化したペンギンにおける制約かもしれない。先行研究により、キバナウは非繁殖期にはほとんど移動しないことが報告されている（Harris et al. 2013）。飛翔・潜水採餌をおこなうキバナウは環境の季節変化に伴う餌資源の変動に対して、より動的に応答（移動）できると考えられる。しかし、本研究では予想とは逆の結果が得られた。このことは、潜水に特化したマゼランペンギンと飛翔・潜水採餌をおこなうキバナウでは採餌におけるコストとベネフィットの関係に違いがあることが予想される。今後は現在解析を進めている、繁殖期の両種の採餌行動を詳細に明らかにすることで鳥類の潜水採餌への適応、さらに潜水採餌性海鳥の生息分布・分散要因についても明らかにしたいと考えている。

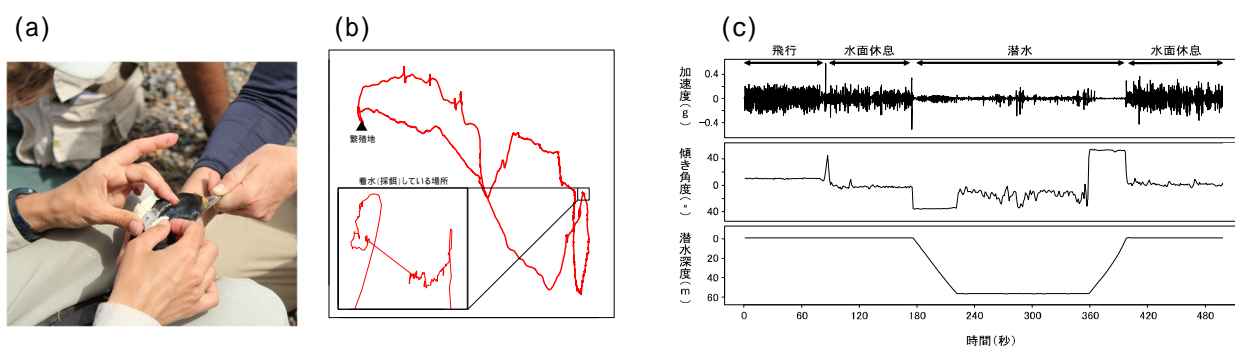


図1. (a) キバナウにデータロガーを装着する様子、(b)GPSにより記録された繁殖期の採餌トリップ軌跡の例、(c)採餌トリップ中の加速度と潜水深度の記録例。

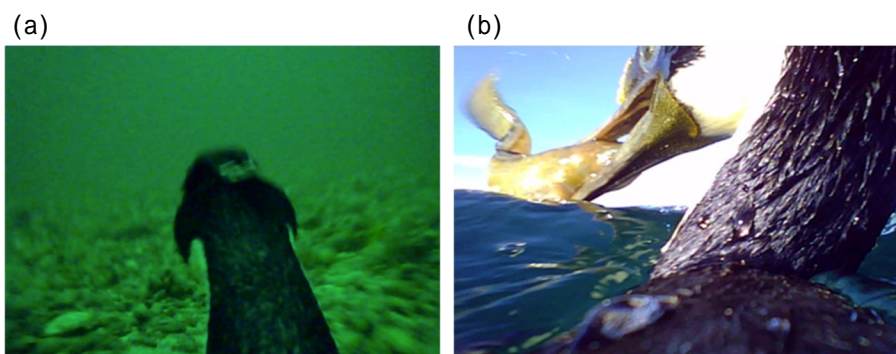


図2. キバナウにビデオロガーを装着して記録された採餌環境(a)と捕食イベント(b)。



図3. マゼランペンギンの足に装着したジオロケータ。記録された照度データから、非繁殖期の長期間の位置および潜水行動を記録。

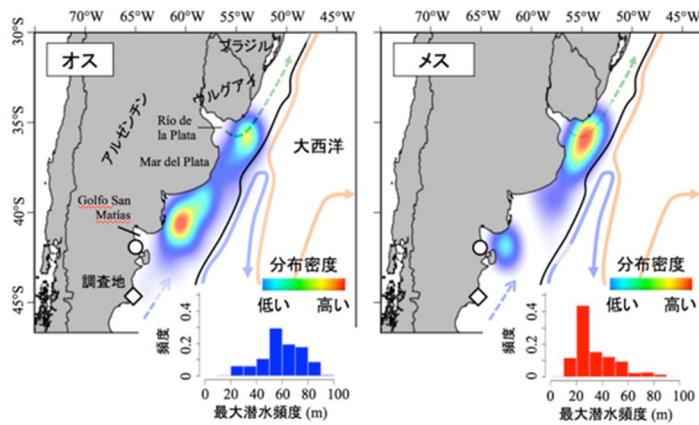


図4. 非繁殖期のオス(左)とメス(右)の越冬海域および潜水深度。図中の はデータロガーを取り付けた繁殖地、 は大西洋側にある本種の繁殖地の北限を示す。メスはオスよりも繁殖地から遠く離れた海域まで移動する(繁殖地からの移動距離: オス 268~1023 km、メス 371~1202 km)。

なお、マゼランペンギンの非繁殖期の生息海域に関する知見はこれまで乏しかった一方、南半球の冬になると、繁殖地から 1000 km 以上も離れたウルグアイやブラジル南部の海岸に、毎年数千羽のマゼランペンギンがストランディング(衰弱や怪我などによる漂着)することが多くのメディアに取り上げられている。ストランディングの原因としてもっとも多いのは油汚染で、その他にも、漁業の網や漁具によって負傷するケースが報告されている。また、多くのストランディング個体(死亡個体)の胃内容物からプラスチック片が発見されている。このようなマゼランペンギンの非繁殖期のストランディング現象は 1980 年代から知られているが、近年の DNA 分析による性別別から、ストランディングする個体はメスに偏っていることが明らかになった(メスのストランディング数はオスの約 3 倍多い)。メスが越冬するアルゼンチン北部からブラジル南部にかけては大きな都市や港が多く、商業船の往来や油田開発による海洋汚染および漁業活動による海洋資源の枯渇や漁網による混獲など、人間活動による海洋生物への影響が危惧されている海域と重複している。そのため、非繁殖期にこれらの海域により多く生息するメスは人為的影響を被りやすく、メスに偏ったストランディングに繋がっていることが示唆される。マゼランペンギンは一夫一妻で繁殖するため、片方の性別ばかり死亡率が高くなると、必然的に繁殖ペア数が少なくなる。そして、繁殖ペア数が少なくなると次世代に残せる雛の数が少なくなり、延いては個体群の存続に影響する。実際に、一部の繁殖地では近年個体数の減少が報告されており、非繁殖期の死亡率の性差がその一因であると考えられている(Gownaris & Boersma 2019)。本研究の結果は、保全において、繁殖期・非繁殖期を含む 1 年をとおした生息域の特定の重要性、そして空間分布動態の種内差を考慮した保全海域設定の必要性を提唱した。なお、上記の研究内容は、英文学術論文として発表し(雑誌論文 1) 国内外の様々なメディアに取り上げられた(例えば、EurekAlert: https://www.eurekalert.org/pub_releases/2019-01/cp-fpa010219.php, BBC: <https://www.bbc.com/news/av/science-environment-46785510/why-more-female-penguins-are-washing-up-dead-in-south-america>)。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 10 件) 全て査読あり

- (1) Yamamoto T, Yoda K, Blanco SG, Quintana F (2019) Female-biased stranding in Magellanic penguins. *Current Biology* 29: R12-R13 (<https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.11.023>).

[学会発表](計 8 件)

- (1) 山本 誉土. "統計手法を用いた動物の行動分類の試み". 統数研・東北大ワークショップ 2019, 東北大学流体科学研究所, 2019 年 4 月 5 日.
- (2) 山本 誉土. "確率的アルゴリズムを用いた動物の空間分布動態推定". 情報・システム研究機構 データサイエンス共同利用基盤施設共同研究集会「データ科学の応用と展望」, 京都大学吉田キャンパス, 2019 年 1 月 12-13 日. 口頭

- (3) Yamamoto T, Yamashita R, Takada H, Watanuki Y. "Tracking of migratory seabirds by bio-logging and its application for marine pollution monitoring. Sustainability Initiative in the Marginal Seas of South and East Asia, Manila, Philippines, 2018年11月19-20日.
- (4) 山本誉士. "Where and what do they do? Observation of animal behaviour using animal-borne data loggers: the case of seabirds". 第65回日本生態学会大会企画集会「Exploiting digital tools to generate new insights into behavior and ecology」, 札幌コンベンションセンター, 2018年3月14-18日.
- (5) 山本誉士. "データロガーを用いた鳥類研究". 日本鳥学会2017年度大会自由集会, 筑波大学, 2017年9月15-18日.

〔図書〕(計2件)

- (1) 山本誉士 (2018) バイオロギング海鳥学. In: はじめてのフィールドワーク 日本の鳥類編. pp.247-276 (総ページ数30ページ), 東海大学出版部.

〔その他〕

解説記事・紀要等

- (1) 山本誉士 (2019) バイオロギング～鳥の背から見える景色～ (非繁殖期の移動を追う). BIRDER 6月号, 日本野鳥の会発行, pp.68-69.
- (2) 山本誉士 (2019) バイオロギングによる鳥類の行動調査. 野鳥6月号「特集企画: 野鳥保護に活かせ! 新テクノロジー」, 日本野鳥の会発行, pp.7-10.
- (3) 山本誉士 (2019) 風況がカツオドリ巣立ち幼鳥の飛翔行動に及ぼす影響. 西表島研究, 東海大学沖縄地域研究センター, pp.1-9.
- (4) 山本誉士 (2019) アルゼンチンでのマゼランペンギン調査. THE PENGUIN 28: 92-98.

アウトリーチ活動

- (1) 山本誉士. "The mystery of female-biased stranding in Magellanic penguins". 10th International Symposium on Primatology and Wildlife Science, 京都大学吉田キャンパス, 2019年9月23日.
- (2) 山本誉士. "マゼランペンギンの非繁殖期の生態". 日本野鳥の会東京支部交流会, 2018年11月21日.
- (3) 日本野鳥の会東京本部R講座(初級編)講師, 2018年10月29日.
- (4) 神戸市立須磨海浜水族園 展示協力, 2018年3月～現在展示中.
- (5) 山本誉士. "マゼランペンギンの非繁殖期の生態". ペンギン会議飼育技術研究会, 江戸川区総合文化センター, 2018年1月29日.
- (6) Earthwatch Project 「Trailing Penguins in Patagonia」現地指導員, 2017年11月.

ホームページ: <http://ytaka.strikingly.com/>

(2)研究協力者

研究協力者氏名： 依田 憲 (名古屋大学大学院環境学研究科)

ローマ字氏名： Ken Yoda (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

研究協力者氏名： Flavio Quintana (IBIOMAR-CONICET, Argentina)

ローマ字氏名： Flavio Quintana (IBIOMAR-CONICET, Argentina)

研究協力者氏名： Gabriela S. Blanco (IBIOMAR-CONICET, Argentina)

ローマ字氏名： Gabriela S. Blanco (IBIOMAR-CONICET, Argentina)

研究協力者氏名： Agustina Gómez Laich (IBIOMAR-CONICET, Argentina)

ローマ字氏名： Agustina Gómez Laich (IBIOMAR-CONICET, Argentina)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。