

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2016

課題番号：24681006

研究課題名(和文) 鳥類搭載型記録計を用いた海洋激変イベントに伴う生態系影響評価

研究課題名(英文) A study on ecological responses of seabirds in relation to changes in physical and biological environments using animal-borne data loggers

研究代表者

依田 憲 (Yoda, Ken)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：10378606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、オオミズナギドリとウミネコにGPSロガー等を装着し、様々なスケールで変動する海洋環境(例えば年変化)に対する海鳥類の応答戦略を明らかにすることを目的とした。得られた膨大な移動情報を解析した結果、海洋物理環境や生物環境の変化や、性や内的状態に応じて、移動生態が柔軟に変化することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In this study, I investigate how marine top predators (streaked shearwaters and black-tailed gulls) respond to environmental changes at different temporal and spatial scales by using different types of animal-borne data logger (Global Positioning Systems, video, and accelerometer) and by measuring physiological states. They adjusted their movement behavior in relation to changes in physical and biological environments (e.g., sea surface temperature, ocean wind, and prey availability) and to their sex and internal states.

研究分野：動物行動学

キーワード：バイオロギング 海鳥類 環境変動

### 1. 研究開始当初の背景

海洋の高次捕食者が様々なスケールで起こる海洋環境変動に対してどのように対応しているのかは、生態学、水産学、海洋学などに跨る重要な問題でありながら、よくわかっていない。海洋環境の変化には、日周変化、季節変化、年変化、地球温暖化のような長期的な変化、震災・津波等で起こりうる急激な変化などの時空間的な階層がある上、物理構造だけでなく生物分布も高次捕食者に影響を与える。こうした複雑な環境変化に対する高次捕食者の行動対応を紐解くには、様々なスケールの解析に耐えうる行動・生態・生理データを取得する必要がある。特に、長寿命の動物の繁殖や適応度に影響するのは、環境の年変化や環境激変イベントであり、中長期的な行動データの蓄積が肝要である。しかし、高次捕食者の行動追跡、特に行動圏などを探る移動追跡は短期的研究に偏る傾向が強く、年変化等の分析に耐えられるデータ・セットはほとんどない。また、環境変動から動物個体が受けるストレスを評価するための経年的なデータの蓄積も少ない。日常的に数百キロメートルを移動する高次動物の環境応答を調べるためには、個体の行動・生理データと、繁殖生態データを、現代的な手法を用いて計測し、解析する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、動物搭載型センサを用いて、高次捕食動物(海鳥類)の行動を追跡し、行動・生理・生態データを4年間(補助事業期間延長を行ったため、結果的には5年間)に渡って集積し、海洋環境の日周変化、季節変化、年変化、激変イベントに対する行動応答を明らかにすることを目的とする。具体的には、ウミネコとオオミズナギドリに小型のGPS・加速度・映像データロガーを取り付けて(特に重要なのは行動圏を把握するためのGPS)、採餌環境を記録し、持ち帰った餌生物を種同定する。また、データロガーの装着もしくは回収時に血液サンプルを採取し、染色体末端部のテロメア長を計測する。テロメアは環境等から受けるストレスによって短縮が促進されるため、環境ストレスの指標となる。得られたデータを集約し、衛星リモートセンシングによる海表面水温やクロロフィルa濃度、海上風、現場観測された魚類分布などと合わせて分析、様々なスケールで変動する海洋環境に対する海鳥類の応答戦略を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 野外調査

青森県八戸市蕪島繁殖地のウミネコ(*Larus crassirostris*)、新潟県粟島繁殖地のオオミズナギドリ(*Calonectris leucomelas*)、岩手県船越大島のオオミズナギドリに対して、2012-2016年の繁殖期に野外実験を行った。ウミネコは抱卵期(5月)、オオミズナギドリ

は育雛期(8-10月)に各種データロガーの装着と回収を行った。GPS・加速度データロガーはGiPSyシリーズ及びAxyTrek(テクノスマート社、イタリア)、ビデオロガーはリトルレオナルド社製を用いた。GPSロガーは1分または30秒間隔で測位した(1個体あたり数日から数週間のデータを得ることができる)。GiPSyは防水のため、熱収縮チューブ(PRO POWER社、UK)を用いて梱包し、背部中央の羽にテサテープを用いて巻きつけた。1年間以上の行動を追跡するため、照度ロガー(Biotrack, UK)を繁殖期後期に装着した。海鳥の繁殖や行動に影響を与えないよう、体重の3-5%未満のロガーを用いた。

翼下静脈または下肢静脈を約70%アルコール綿で消毒し、25Gの注射針で傷つけて渗んだ血液を毛細管で採集した。この採血方法はより小型の鳥でも用いられている方法であり、個体に対する影響が少ない。

毎年の繁殖の結果(繁殖成功)を調べるために、雛の成長や巣立ち成功などを記録した。

各調査地の特性に応じて、上陸及び捕獲許可を申請した。野生動物実験に関わる倫理面に関しては、「名古屋大学における動物実験等に関する取扱規程」に従い、動物実験委員会への計画申請を行い、許可を受けた。

#### (2) 解析

回収したロガーからデータをダウンロードし、Matlab、R、ArcGIS、Igor PROを用いて解析した。衛星が観測した表面水温等も利用した。

### 4. 研究成果

#### (1) ウミネコ

青森県八戸市蕪島繁殖地のウミネコの成鳥からは、2012年に27個体から269採餌トリップ(繁殖地から採餌に行き、再び繁殖地に戻る行動サイクルのこと)、2013年に20個体から159採餌トリップ、2014年に18個体から164採餌トリップ、2015年に21個体から157採餌トリップ、2016年に30個体から247採餌トリップの行動データを得ることに成功した。また、ロガーを装着したほぼ全個体から血液を採取した。さらに、照度ロガーやビデオロガーからもデータを得た。

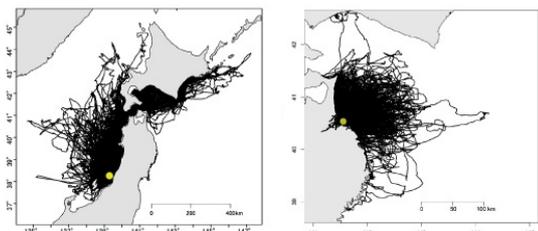


図1. 新潟県のオオミズナギドリ(*Calonectris leucomelas*) (左)と青森県のウミネコ(*Larus crassirostris*)にGPSロガーを装着して得られた移動経路。丸印はロガーの装着と回収を行った繁殖コロニーの位置。

## (2) オオミズナギドリ

新潟県粟島のオオミズナギドリの成鳥からは、2012年に46個体から150採餌トリップ、2013年に41個体から205採餌トリップ、2014年に39個体から249採餌トリップ、2015年に42個体から230採餌トリップ、2016年に58個体から289採餌トリップの行動データを得ることに成功した。岩手県船越大島のオオミズナギドリに対しては、毎年15–20個体のGPSロガーを装着、回収したが、データ解析が終了していないため、採餌トリップ数などは確定していない。また、一部の個体からテロメア分析用の血液を得た。さらに、照度ロガーやビデオロガーからもデータを得た。

## (3) データ解析結果

世界的にも類を見ない膨大な移動情報を得ることができた。GPSデータから、オオミズナギドリとウミネコの基本的な行動圏を明らかにした(図1)。また、照度ロガーにより、越冬地も明らかになった。例えば青森県のウミネコは繁殖期が終わると一旦北上する個体があった(図2a)。利用海域や移動距離、飛翔行動は雌雄によって、また年によって変化しており、海洋の魚類分布や海上風の状況によって変化していた(成果の一部は論文業績2)。新潟県のオオミズナギドリに関しては、毎年9月の海表面水温と雛の成長速度に負の相関が見られたことから(高水温ほど低い成長速度)、カタクチイワシの好適水温帯の分布変化にともなって親鳥の採餌成功が影響を受け、雛の成長の違いとしてあらわれることが示唆された。こうした海鳥類の繁殖や成長の水温依存性は、地球温暖化のような長期的変化の影響を受けることを示唆するため、今後も注視する必要がある。また、ウミネコの場合、個体の年齢によっても採餌場所の選好性が異なっていた。GPSおよび映像ロガーから、ウミネコは人間活動に依存した採餌行動(加工場からの廃棄物を利用したり、田んぼを利用したり)を行うことがわかったが(論文業績18)、年齢による経験や老化が近場の内陸採餌場へ向かわせるのかもしれない。また、東日本大震災に伴う津波によりそれらの採餌場所が利用できなくなった場合は、外洋採餌に切り替えていた。海鳥の親鳥は餌分布などの様々な環境変化に対応しつつ、雛への総給餌量を親鳥にとっての最適に制御しているようだ(論文業績8)。

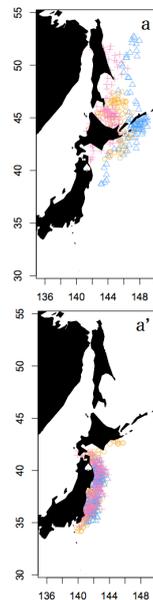


図2. 青森県のウミネコ (*Larus crassirostris*) の渡りルート。aが8–10月期、a'が11–3月期。

海洋環境の微細な変化を捉えるため、海鳥の行動を利用して、海洋の表層流を推定する手法の開発を行った。GPSデータから鳥が漂流していた経路を抽出し、周囲の海流を再現、それが従来手法(船舶観測や衛星リモートセンシング)から得られる値に近いことを示した。つまり、行動を利用して、海鳥が利用していた環境を復元できることが示された(論文業績12)。また、この手法が海洋予測モデルの精度を高めることを示した(論文業績10)。同様の発想で、海上風を推定することもできた(論文業績5)。

血液から染色体末端部のテロメア長を計測した結果、年によってテロメアの短縮度合いが異なることが示された(論文業績14)。これは年によって成鳥が異なる中長期的ストレスに晒されることを示しており、エルニーニョや津波による採餌場所の変化の影響である可能性が示唆された。現在GPSデータや照度ロガーの行動データと合わせ、解析を進めている。

本研究により、これまで追跡が難しかった海洋動物の行動・生理・生態・環境のダイナミズムが、バイオロギング等の先端計測手法により明らかになってきた。今後は得られたデータにビッグデータ解析などを応用し、要因間の因果関係を紐解いていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計19件)

(1) K. Yoda, T. Shiozaki, M. Shirai, S. Matsumoto, M. Yamamoto. Preparation for flight: pre-fledging exercise time is correlated with growth and fledging age in burrow-nesting seabirds. *Journal of Avian Biology*, in press. 査読有

(2) S. Matsumoto, T. Yamamoto, M. Yamamoto, K. Yoda. Sex-related differences in the foraging movement of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* breeding on Awashima Island in the Sea of Japan. *Ornithological Science* 16, 23-32 (2017). 査読有

(3) T. Yamamoto, H. Kohno, A. Mizutani, K. Yoda, S. Matsumoto, R. Kawabe, S. Watanabe, N. Oka, K. Sato, M. Yamamoto, H. Sugawa, K. Karino, K. Shiomi, Y. Yonehara, A. Takahashi. Geographical variation in body size of a pelagic seabird, the streaked shearwater *Calonectris leucomelas*. *Journal of Biogeography* 43, 801-808 (2016). 査読有

(4) A. Carravieri, M. Muller, K. Yoda, S. Hayama, M. Yamamoto. Dominant parasympathetic modulation of heart rate and heart rate variability in a wild-caught seabird.

Physiological and Biochemical Zoology 89, 263-276 (2016). 査読有

(5) Y. Yonehara, Y. Goto, K. Yoda, Y. Watanuki, L.C. Young, H. Weimerskirch, C. A. Bost, K. Sato. Flight paths of seabirds soaring over the ocean surface enable measurement of fine-scale wind speed and direction. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 113, 9039-9044 (2016). 査読有

(6) S. Matsumoto, T. Yamamoto, R. Kawabe, S. Ohshimo, K. Yoda. The Changjiang River discharge affects the distribution of foraging seabirds. Marine Ecology Progress Series 555, 273-277 (2016). 査読有

(7) Y. Mizutani, Y. Niizuma, K. Yoda. How do growth and sibling competition affect telomere dynamics in the first month of life of long-lived seabird? PLOS ONE 11: e0167261 (2016). 査読有

(8) M. Ogawa, T. Shiozaki, M. Shirai, M.S. Muller, M. Yamamoto, K. Yoda. How do biparental species optimally provision young when begging is honest? Behavioral Ecology 26, 885-899 (2015). 査読有

(9) M. Shirai, Y. Niizuma, M. Yamamoto, E. Oda, N. Ebine, N. Oka, K. Yoda. High levels of isotope elimination improve precision and allow individual-based measurements of metabolic rates in animals using the doubly labeled water method. Physiological Reports 3, e12552 (2015). 査読有

(10) Y. Miyazawa, X. Guo, S. M. Varlamov, T. Miyama, K. Yoda, K. Sato, T. Kano, K. Sato. Assimilation of the seabird and ship drift data in the north-eastern sea of Japan into an operational ocean nowcast/forecast system. Scientific Reports 5, 17672 (2015). 査読有

(11) 塩崎達也, 白井正樹, 大杉雅人, 山本麻希, 依田憲. 新潟県粟島におけるイエネコ等によるオオミズナギドリ雛の捕食. 日本鳥学会誌 63, 75-78 (2014). 査読有

(12) K. Yoda, K. Shiomi, K. Sato. Foraging spots of streaked shearwaters in relation to ocean surface currents as identified using their drift movements. Progress in Oceanography 122, 54-64 (2014). 査読有

(13) A. Ito, R. Yamashita, H. Takada, T. Yamamoto, K. Shiomi, C. Zavalaga, T. Abe, S. Watanabe, M. Yamamoto, K. Sato, H. Kohno, K. Yoda, T. Iida, Y. Watanuki. Contaminants in

tracked seabirds show regional patterns of marine pollution. Environmental Science & Technology 47, 7862-7867 (2013). 査読有

(14) Y. Mizutani, N. Tomita, Y. Niizuma, K. Yoda. Environmental perturbations influence telomere dynamics in long-lived birds in their natural habitat. Biology Letters 9, 20130511 (2013). 査読有

(15) M. Shirai, M. Ito, K. Yoda, Y. Niizuma. Basal metabolic rate of the rhinoceros auklet *Cerorhinca monocerata*, as measured using respirometry. Marine Ornithology 41, 151-153 (2013). 査読有

(16) M. Shirai, M. Yamamoto, N. Ebine, T. Yamamoto, P. N. Trathan, K. Yoda, N. Oka, Y. Niizuma. Basal and field metabolic rates of Streaked Shearwater during chick-rearing period. Ornithological Science 11, 47-55 (2012). 査読有

(17) M. Shirai, M. Ito, K. Yoda, Y. Niizuma. Applicability of the doubly labelled water method to the rhinoceros auklet, *Cerorhinca monocerata*. Biology Open 1, 1141-1145 (2012). 査読有

(18) K. Yoda, N. Tomita, Y. Mizutani, A. Narita, Y. Niizuma. Spatio-temporal responses of black-tailed gulls to natural and anthropogenic food resources. Marine Ecology Progress Series 466, 249-259 (2012). 査読有

(19) I.K. Shimatani, K. Yoda, N. Katsumata, K. Sato. Toward the quantification of a conceptual framework for movement ecology using circular statistical modeling. PLoS ONE 7, e50309 (2012). 査読有

[学会発表] (計19件)

(1) 鈴木宏和, 水谷友一, 依田憲. 繰り返し同じ採餌場所を利用するウミネコは適応的か. 第12回日本バイオロギング研究会シンポジウム. 京都. 2016. 12.

(2) 山本誉士・河野裕美・水谷晃・依田憲・松本祥子・河邊玲・渡辺伸一・岡奈理子・佐藤克文・山本麻希・須川恒・狩野清貴・塩見こずえ・米原善成・高橋晃周. 外洋性海鳥の体サイズの種内地理変異. 第71回生物地理学会. 東京大学弥生キャンパス. 2016. 4.

(3) 依田憲・須原万理子・松本祥子・白井正樹・坂尾美帆・山本麻希. 境界を往来するオオミズナギドリの雛. 日本動物行動学会第34回大会. 東京海洋大学. H27.11.

(4) 鈴木宏和, 水谷友一, 依田憲. ウミネコの採餌場所は海面水温の年変動に影響を受け

るか？ 日本動物行動学会第34回大会. 東京海洋大学. H27.11.

(5) 菅原貴徳, 依田憲, 山本麻希. 海鳥の成長に伴う安静時心拍数変化と餌乞いコストの推定. 日本動物行動学会第34回大会. 東京海洋大学. H27.11.

(6) 依田憲・須原万理子・松本祥子・白井正樹・坂尾美帆・山本麻希. いったりきたり：巣穴を出入りするオオミズナギドリの雛. 第11回日本バイオリギング研究会シンポジウム. 長岡技術科学大学. H27.10.

(7) 鈴木宏和, 水谷友一, 依田憲. ウミネコの採餌行動は変動する餌資源の量に対応しているか？ 第11回日本バイオリギング研究会シンポジウム. 長岡技術科学大学. H27.10.

(8) 菅原貴徳, 依田憲, 山本麻希. 心拍数を指標とした海鳥雛の餌乞いコストの推定. 第11回日本バイオリギング研究会シンポジウム. 長岡技術科学大学. H27.10.

(9) Nagata M, Yoda K, Mizutani Y, Niizuma Y. Individual consistency of migration route and activities of black-tailed gull. 42th Annual Meeting Pacific Seabird Group San Jose, CA, USA. 2015/02/01.

(10) 依田憲・小川昌宏・塩崎達也・白井正樹・Martina S. Müller・山本麻希. 雛の正直な餌乞いに対してオオミズナギドリはどのように最適給餌するのか？ 日本動物行動学会第33回大会. 長崎大学. 2014年11月.

(11) 松本祥子・依田憲・山本麻希. 新潟県粟島のオオミズナギドリ雄の採餌行動の年比較：異なる2つの海域をどのように選択するのか？ 日本動物行動学会第33回大会. 長崎大学. 2014年11月.

(12) 永田瑞穂・水谷友一・依田憲・新妻靖章. ウミネコにおける渡り行動の個体レベルでの再現性. 日本動物行動学会第33回大会. 長崎大学. 2014年11月.

(13) Shirai M., Niizuma Y., Yamamoto M., Ebine N., Yoda K. ENERGY ALLOCATION STRATEGIES DURING FORAGING IN A PELAGIC SEABIRD, THE STREAKED SHEARWATER. 3rd international conference on Recent Advances and Controversies in Measuring Energy Metabolism. 東京. 2014年10月.

(14) 松本祥子・依田憲・大下誠二・河邊玲. GPS衛星送信機を用いた男女群島のオオミズナギドリの採餌行動圏の解明. 四学会合同沖縄大会. 琉球大学. 2014年5月.

(15) 依田憲. オオミズナギドリに搭載したGPSロガーで測定する海水面流況. 第九回日本バイオリギング研究会シンポジウム. 東京大学大気海洋研究所. 2013年11月.

(16) 依田憲・塩見こずえ・佐藤克文. 漂流する海鳥を利用して海面流動を再現：どこで採餌するか？ 日本鳥学会2013年度大会. 名城大学. 2013.9.

(17) 白井正樹, 山本麻希, 新妻靖章, 依田憲. 水域を利用する鳥類の着水時エネルギー消費速度と系統的近縁性の影響. 日本鳥学会2013年度大会. 名古屋. 2013.09.

(18) 小川昌宏, 白井正樹, 松本祥子, 山本麻希, 依田憲. 新潟県粟島のオオミズナギドリ雛への付加給餌に対する親鳥の応答. 日本鳥学会2013年度大会. 名古屋. 2013.09.

(19) 水谷友一・Carlos B. Zavalaga・新妻靖章・永田瑞穂・成田章・依田憲. GPSデータロガーを用いたウミネコの採餌場所の選好性の解明. 日本鳥学会2013年度大会. 名古屋. 2013.09.

〔図書〕(計3件)

(1) バイオリギング2 動物たちの知られざる世界を探る、分担執筆、バイオリギング研究会編、京都通信社(2016). (p. 88-92)

(2) 依田憲『移動・どこに住むか』、行動生態学(シリーズ 現代の生態学 5)、日本生態学会編、共立出版(2012). (p. 49-70)

(3) 生物多様性～子どもたちにどう伝えるか(2012) 分担執筆、地球研叢書、昭和堂. (p. 115-140)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://yoda-ken.sakura.ne.jp>

6. 研究組織  
(1)研究代表者

依田 憲 (YODA Ken)

名古屋大学・大学院環境学研究科・教授

研究者番号：10378606

(2)研究分担者 ( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：

(4)研究協力者 ( )