

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H05017

研究課題名(和文) 外洋性海鳥の帰巣行動に関する認知生態研究：種内・種間比較に基づく統合的アプローチ

研究課題名(英文) Comparative analysis of homing behavior in pelagic seabirds

研究代表者

塩見 こずえ (Shiomi, Kozue)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教

研究者番号：50756947

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,900,000円

研究成果の概要(和文)：外洋を数百kmから数千kmのスケールで移動する鳥類(ミズナギドリ科 *Calonectris* 属 4種)を対象に、動物装着型GPSロガーを用いた自然環境下での帰巣経路記録、そして種内および種間での移動パターンの比較を行なった。餌場から巣まで長距離飛行をして帰り着くプロセスと、その帰巣パターンを形成する外的・内的制約の一部を明らかにした。また、比較解析の前提情報としてオオミズナギドリの遺伝的個体群構造を推定し、繁殖地間で遺伝的分化が起こっていないことを示唆する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の特色は、動物が進化してきた舞台とも言える自然環境下での行動を動物搭載型ロガーで記録してつぶさに分析し、その行動パターンを種内および種間で比較することによって帰巣に関わる認知能力やその限界を突き止めることを試みた点にある。「帰巣」は幅広い動物群に見られる行動であり、研究の歴史も長い。これまでの研究では人為的に特定の感覚や環境条件を操作・制御する実験が主流であったが、本研究のようなアプローチも発展させていくことで、帰巣行動の適応進化や多様化のプロセスの全体像に迫れるはずである。

研究成果の概要(英文)：This project aimed to reveal ecological and cognitive constraints on homeward movements in pelagic seabirds that travel several hundreds to thousands of kilometers for foraging during the breeding season. Using animal-borne GPS loggers, at-sea movements of four species of *Calonectris* shearwaters were tracked and compared among breeding colonies and among species. The comparative analysis is in progress, in which the differences are interpreted in terms of geographic conditions and sensory mechanisms for navigation. In addition, to consider genetic differences among breeding colonies, the genetic structure of streaked shearwaters (*C. leucomelas*) was investigated using microsatellite markers, and little genetic differentiation was found.

研究分野：動物行動学

キーワード：ナビゲーション バイオリギング 帰巣経路

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

「帰巢」(ある地点から営巣地点への移動)は様々な分類群の動物に共通して見られる行動であり、生存や繁殖活動の基盤とも言える位置付けにある。帰巢中の移動パターンは、動物が置かれた環境と、それを知覚・処理する動物自身の認知能力によって形成されていると考えられる。そのような外部要因と内部メカニズムを包括的に捉えることは、帰巢行動の適応進化や多様化のプロセスを明らかにする上で重要な課題である。しかし、自然環境下で自由に動きまわる動物の帰巢行動を直接観察することは難しく、これまでは人為的に環境条件を制御した実験室や感覚器を操作した動物を用いた、認知メカニズムだけを切り取った研究が中心だった。

### 2. 研究の目的

本研究では外洋を数百～数千 km のスケールで移動する鳥類(ミズナギドリ科 *Calonectris* 属 4 種)を対象に、動物装着型 GPS ロガーを用いた自然環境下での帰巢経路記録、そして種内および種間での移動パターンや知覚特性の比較によって、餌場から巣まで長距離飛行をして帰り着くプロセスと、その帰巢パターンがどのような外的・内的制約の下で形成されてきたかを解明することを目的とした。これは、観察や追跡が難しい野生動物の認知生態にアプローチする方法論構築の試みでもある。

### 3. 研究の方法

帰巢中の地理的条件や移動距離が大きく異なる環境で繁殖するミズナギドリ類の帰巢経路と知覚特性(視覚・嗅覚)を個体群間および種間で比較することによって、帰巢時の経路選択に関わる環境要件と認知メカニズムをあぶり出すことを目指した。

#### 帰巢行動の繁殖地間比較:

オオミズナギドリ(*Calonectris leucomelas*)の繁殖地は沖縄から北海道まで日本各地に分布している(Oka 2004 *J Yamashina Inst Ornithol*)。その中で例えば、伊豆諸島の御蔵島だけは主な餌場となる海域から 1000 km 以上離れているため、帰巢に丸一日以上かかる。一方、新潟県粟島は、餌場から繁殖地までの全行程を岸沿いに移動できる位置にある。このように環境条件が繁殖地ごとに大きく異なることを活かし、岩手・新潟・御蔵島の繁殖地間で帰巢経路の時空間パターンがどのように変化しているのかを調べた。

岩手・新潟で繁殖するオオミズナギドリについては先行研究で帰巢経路データが蓄積されていたのに対して、御蔵島のオオミズナギドリに関してはおおまかな利用海域の情報しかなかった。そこで帰巢経路データを取得するための野外調査を本研究期間中に実施した。GPS ロガー(Technosmart 社製、LOTEK 社製)を成鳥の背中に取り付け、繁殖地と外洋の餌場を往復移動する際の経路を記録した。

#### 帰巢行動の種間比較:

オオミズナギドリの繁殖域は東アジアのみだが、*Calonectris* 属の残り 3 種(*C. borealis*, *C. diomedea*, *C. edwardsii*)は大西洋と地中海に繁殖している。オオミズナギドリは *Calonectris* 属の中でもっとも早い時期に分岐したと考えられており(Gomez-Diaz et al. 2006 *Mol Phylogenet Evol*)、太平洋や日本海で繁殖する唯一の種でもある。したがって、帰巢メカニズムや知覚特性が独立に進化した可能性も考えられる。そこで種間での帰巢行動の違いや共通点について詳しく調べるため、オオミズナギドリ以外の 3 種の移動経路も分析した。この解析には共同研究者から提供を受けたデータを用いた。

#### 遺伝的個体群構造の推定:

オオミズナギドリ以外の 3 種については、同種内で繁殖地間の遺伝的交流があることが先行研究で示唆されていた。本研究では種内比較の基礎情報としてオオミズナギドリの繁殖地間での遺伝的分化の有無を推定した。各繁殖地で得られた羽毛サンプルから DNA を抽出し、マイクロサテライトマーカー解析を行った。

#### 知覚特性の種内・種間比較:

過去の研究で嗅覚と視覚がミズナギドリ類の帰巢に関与していることが示唆されている点に注目し、行動学的な実験と解剖学的な分析によって、嗅覚・視覚特性を繁殖地間と種間で比較する計画を立てた。しかし、実験環境の確立とサンプル収集が難航し、研究期間内にデータを取得することができなかった。本項目については今後の課題とする。

### 4. 研究成果

#### (1) 帰巢経路データの取得と繁殖地間の比較

伊豆諸島御蔵島で繁殖するオオミズナギドリ計 40 羽に GPS ロガーを装着し、最長で約 1 ヶ月間

の移動経路を記録した。これにより、1000 km 以上離れた餌場から数日かけて帰巢するという御蔵島個体特有の経路データを取得した。さらに、GPS ロガーを装着した個体をフェリーで運搬し、繁殖地から約 100km 離れた場所から放鳥して帰巢経路を記録する手順を確立した。

繁殖地間の帰巢行動比較に先立って、各繁殖地での帰巢パターンを詳細に分析した。岩手県沿岸の島で繁殖するオオミズナギドリは、外洋の餌場から陸地までの距離と日没までの残り時間に応じて帰巢のタイミングやルートを調節していることが示された。つまり、生態的・認知的な要因が複合的に関与して移動の時空間パターンが形成されていることが明らかになった (Shiomi et al. 2019 *Behaviour*)。現在、岩手県と御蔵島の繁殖地で取得したデータに共同研究者から提供を受けた新潟県粟島のデータも加えて、帰巢経路の時空間パターン比較を進めている。岩手繁殖地の個体から得られた知見をベースに、各繁殖地で見られる特徴を地理的環境の違いなどの観点から考察し、帰巢パターンの形成要因を推察する。

## (2) 遺伝的個体群構造の推定

オオミズナギドリ繁殖地間の比較研究の基礎情報として、遺伝的個体群構造を推定した (Sakao et al. *Ornithol Sci* 2023)。岩手県船越大島、伊豆諸島御蔵島、新潟県粟島、山口県宇和島の 4 繁殖地で採取されたオオミズナギドリの羽毛サンプルを用いてマイクロサテライトマーカー解析を行なった結果、遺伝的分化は起こっていないことが示唆された。一方で、過去 30 年間の標識再捕記録 (山階鳥類研究所 提供) を集計したところ、標識個体が繁殖地間を移動した例はほとんどなかった。したがって、繁殖地間の遺伝的交流が維持されていると結論づけることはできないが、繁殖地間の行動比較をする際は以上の結果を踏まえて慎重に考察する必要がある。

## (3) 帰巢行動の種間比較

*Calonectris* 属全 4 種の移動経路データを用いて、種ごとの帰巢パターンの解析と、種間比較に取り組んだ。オオミズナギドリ以外の 3 種については嗅覚に頼ったナビゲーションをしている可能性が先行研究で示唆されているため、帰巢経路の時空間パターンの種間差がナビゲーションメカニズムの観点から説明できるかなどを中心に調べている。

### <引用文献>

Oka, N. (2004) The distribution of Streaked Shearwater colonies, with special attention to population size, area of sea where located and surface water temperature. *J Yamashina Institute Ornithol* 35: 164–188.

Gómez-Díaz, E., González-Solís, J., Peinado, M. A., & Page, R. D. (2006) Phylogeography of the *Calonectris* shearwaters using molecular and morphometric data. *Molecular phylogenetics and evolution* 41(2): 322–332.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Miho SAKAO, Tomoko HAMABATA, Katsufumi SATO, Shinichi WATANABE, Ken YODA, Kozue SHIOMI	4. 巻 22
2. 論文標題 Absence of genetic structure among Streaked Shearwaters <i>Calonectris leucomelas</i> breeding in Japan, despite limited dispersal events	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ornithological Science	6. 最初と最後の頁 1, 11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 Kozue Shiomi	4. 巻 76
2. 論文標題 Possible link between brain size and flight mode in birds: Does soaring ease the energetic limitation of the brain?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Evolution	6. 最初と最後の頁 649, 657
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/evo.14425	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 -

1. 著者名 Shiomi Kozue, Sato Katsufumi, Katsumata Nobuhiro, Yoda Ken	4. 巻 156
2. 論文標題 Temporal and spatial determinants of route selection in homing seabirds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Behaviour	6. 最初と最後の頁 1165, 1183
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1163/1568539X-00003560	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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 3件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kozue Shiomi
2. 発表標題 Possible link between brain size and flight mode in birds: Does soaring ease the energetic limitation of the brain?
3. 学会等名 3rd OIST-Tohoku University Joint Workshop on Biodiversity: From Genes and Species to Ecosystem Services and Resilience（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kozue Shiomi
2. 発表標題 Possible links between movement ecology and brain morphology in birds
3. 学会等名 RIMS workshop "Toward an integration of fluids, ecology, and evolution" in Biofluids 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塩見こずえ
2. 発表標題 鳥類の脳サイズと飛行様式の関係
3. 学会等名 日本動物学会東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩見こずえ
2. 発表標題 野生動物の動きをはかるバイオロギング
3. 学会等名 2017年度 海外学術調査フォーラム 海外学術調査ワークショップ「フィールドサイエンスにおけるドキュメンテーション あつめる・はかる・かぞえる」(招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 塩見こずえ, 依田憲	4. 発行年 2017年
2. 出版社 NTS Inc.	5. 総ページ数 6
3. 書名 生物の科学 遺伝 (第71巻, 第6号, 特集I 生物のナビゲーションを科学する)	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
ポルトガル	University of Coimbra			
イタリア	ISPRA			