

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K14788

研究課題名（和文）装着型行動記録装置とテロメア計測を用いた野生動物のライフコスト戦略の解明

研究課題名（英文）Life Cost Strategy for Wild Animals Using Wearable Behavior Recording Devices and Telomere Measurement

研究代表者

水谷 友一（Mizutani, Yuichi）

名古屋大学・環境学研究科・特任助教

研究者番号：00815475

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）：野生のウミネコ個体に対して、異なる採餌行動（主に採餌に費やす時間、離巢距離、総移動距離）によって、生理的な負荷にどれほど影響が与えているのが調査した。緊急事態宣言による人的移動の制限で、ウミネコ同一個体からのサンプリングが途切れてしまったため、中期的な負荷を表す酸化ストレスと繁殖期の行動の関係を調べた。その結果、ウミネコの雌は一腹卵数が増える（すなわち自身の産卵数が増える）と採餌に出かける時間と距離が増加する傾向にあった。一方で、酸化ストレスの増加は見られなかった。これは、産卵による投資分を、海洋へ向かい抗酸化物質が豊富な天然餌を採餌することで、栄養とともに補っていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

目前の繁殖に投資しすぎると将来の寿命や繁殖に悪影響が現れる、といった生活史戦略のトレードオフの生理基盤について、本研究では、野生動物を対象とした実践的な調査を行うことで知見を得ることができた。繁殖時の投資量の雌雄差を補うような行動を雌がしていた可能性を示唆することができた。今後、長期的に研究を続けることで、至近的/究極的な要因の両面から繁殖戦略と採餌戦略の理解を深めることが出来るだろう。

研究成果の概要（英文）：We investigated the effects of different foraging behaviors (mainly time spent foraging, distance away from nests, and total distance traveled) on the physiological load of wild petrels. Since sampling from the same individual gulls was interrupted by the restriction of human movements due to the declaration of a state of emergency, so we examined the relationship between oxidative stress, which represents the medium-term load, and behavior during the breeding season. We found that female gulls tended to increase the time and distance they spent foraging as the number of eggs per nest increased (i.e., their own egg laying increased). On the other hand, there was no increase in oxidative stress. This suggests that they compensate for the investment made by spawning by heading to the ocean to forage for natural food rich in antioxidants, along with nutrients.

研究分野：動物生理行動学

キーワード：バイオリギング テロメア 酸化ストレス 移動コスト

### 1. 研究開始当初の背景

「目前の繁殖への投資か将来の寿命や繁殖か」という生活史戦略のトレードオフは、これまで理論研究の先行や短期間の採餌行動からの説明で満足し、野外検証が圧倒的に不足していた。提唱されてきた生活史戦略のトレードオフ説を、自然に生きる野生動物の採餌行動を記録し同時にバイオマーカーを測定することで、生活史戦略の基盤であるライフコストが採餌戦略の進化に及ぼす影響について理解を試みることができる。

この生活史戦略のトレードオフの生理基盤についてバイオマーカーの候補と注目されているのがテロメアである。テロメアは染色体を保護する末端部位で、細胞分裂のたびに原的に短くなる。短縮限界を迎えると細胞分裂できなくなり、個体レベルの整体減少にも影響するため、余命の指標として使われる。しかし、テロメアの短縮は細胞分裂だけでなく、環境から受けるストレスも短縮速度を加速させることが知られている。このテロメアの性質により、テロメアが生活史戦略のトレードオフの基盤メカニズムの一つであるという説が 2009 年に提唱された (Monaghan et al. *Ecol. Lett.* 2009)。例えば、ある年の繁殖投資を増やすと、それに伴いテロメア帳が短縮し、将来の繁殖や生存に影響するという可能性がありそうだ。

### 2. 研究の目的

本研究では、海鳥の採餌行動およびライフコストを、先端的手法を用いて記録することにより鳥類における採餌行動と繁殖投資の進化について、生活史戦略的視点からの理解を試みる。採餌行動の計測には先端的バイオリギング手法を、ライフコストの計測には長期的なコスト評価としてテロメア測定を、短中期的コスト評価として酸化ストレス測定を用いて、採餌行動や繁殖投資といった短期間の行動戦略がどのようなライフコストを課し、一生という次元の中で同調整されるのか明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

青森県八戸市蕪島で集団繁殖するウミネコ *Larus crassirostris* 個体群を対象に実験を行った。ウミネコは 20-30 年生き毎年繁殖する。繁殖中の親鳥に対してデータロガーを装着して抱卵期から育雛初期の採餌行動を記録した。データロガーは主に GPS と加速度を記録できる Axytrek (テクノスマート, イタリア) を使用し、他に加速度・GPS・ビデオを記録できるログボット (ガーリー, 東京) を使用した。ロガーの種類によって 2 日-3 週間後に再捕獲してロガーを回収しデータをダウンロードした。ロガーの装着と回収時に採血と鳥体計測を行った。採集した血液は、血球と血漿に遠心分離し、血球から DNA を抽出し血漿からは酸化ストレス値を測定した。各データロガーを装着・回収した対象親鳥の繁殖状況 (産卵日・産卵数・孵化雛数・雛の成長に合わせた鳥体計測・巣立ち雛数) を産卵から雛の巣立ちまで記録した。

記録されたウミネコの採餌移動のデータから採餌に出掛けていた総移動距離を算出し酸化ストレス値との関係を解析した。総移動距離は他の移動パラメータであるトリップ長 (巣を離れて採餌に出掛けていた時間) や最遠到達距離 (採餌移動中の最も巣から離れた地点) と相関していたため、総移動距離のみを解析に用いた。

### 4. 研究成果

当初の研究計画では、同一個体の経年的な変化を 3 年連続で追跡することを計画していた。これは毎年同じ場所で営巣・繁殖するウミネコの性質を利用した捕獲計画であったが、新型コロナウイルス感染症対策である移動制限によって 2020 年の長期調査を伴う同一個体の捕獲ができなかったため、テロメア長変化を経年的に追跡できなかった。テロメア長の変化が追跡できなかったが、テロメアと比較して短中期のストレスを反映するといわれる酸化ストレスを利用して移動のコストを評価した。

(1) ロガーを装着したウミネコの一腹卵数による総移動距離の平均は、各年とも一腹卵数が増えると雌は総移動距離が増えるが雄は減る傾向があった

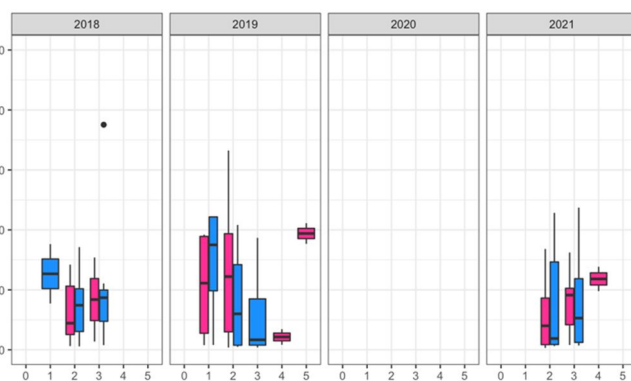


図 1. 2018 年から 2021 年のウミネコ雌雄の一腹卵数ごとの平均総移動距離の分布。年度別に、横軸に一腹卵数を縦軸に最大到達距離 (km) を表しており、雄が青色、雌が赤色で表している。2020 年は新型コロナウイルス感染症対策の移動制限により多年とは異なる時期と期間に調査を行ったため、移動の解析から除外した。

(図1)。つまり、雌は一腹卵数が増えると採餌に費やす時間と移動距離が増加するすなわち、近海や沿岸域、内陸部を利用するよりも遠方の海域を利用していたということになる。

(2)本来はヒト用の試薬である酸化ストレス測定試薬であったが、野生のウミネコでも使用することができた(酸化度と抗酸化力はヒトよりも低い値であり、抗酸化力あたりの酸化度で示される酸化バランスは高かった)。ウミネコ個体群内の各年で酸化度と抗酸化力を測定したところ、2018年の酸化度のみ他年度よりも優位に高い値であった。一方で、抗酸化力については各年での有意差はなかった。

(3)ウミネコの採餌移動とコストとの関係をみたところ、各年で採餌移動時の総移動距離に変化はあるものの酸化ストレスとしては酸化度と抗酸化力との関係はなかった。これはウミネコの採餌行動の長短によって疲労の度合いが増減していないことを示唆する結果となった。特に雌について、一腹卵数の増加(自身の産卵数の増加)によって採餌旅行の時間と距離が増加しているものの、酸化ストレスについての増加はなかった。これは、産卵によって投資した分の栄養や被ストレスを、海洋での採餌すなわち天然魚類による豊富な抗酸化物質と栄養素の補給で回復させていたことを示唆している。

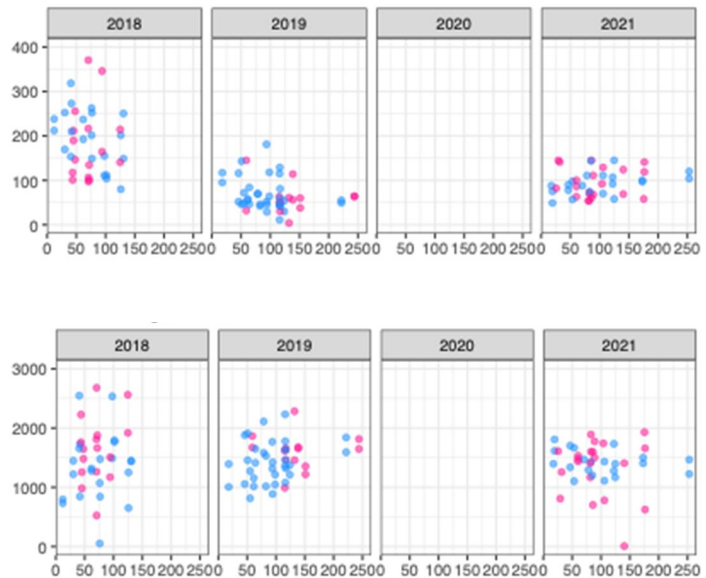


図2. ウミネコ個体の平均層移動距離(横軸: km)と酸化度(上段: d-ROMs 値)と抗酸化力(下段: BAP 値)の関係. 年度毎に分けており、雌は赤色で雄は青色で表している。

(4)ウミネコの採餌行動のきっかけを感知してビデオ録画を開始するAI搭載型ロガーであるログボットを開発し装着した結果、ウミネコは海上飛行中にも昆虫採餌する姿が複数回録画され、海洋上で他個体から餌を奪う行動をしていることが映像で記録できた(水谷ら 2021, Kolpera, Mizutani et al. 2020)。ウミネコは昆虫採餌を積極的に行っていることと海洋上で他個体の餌を奪う採餌行動することが明らかとなった。

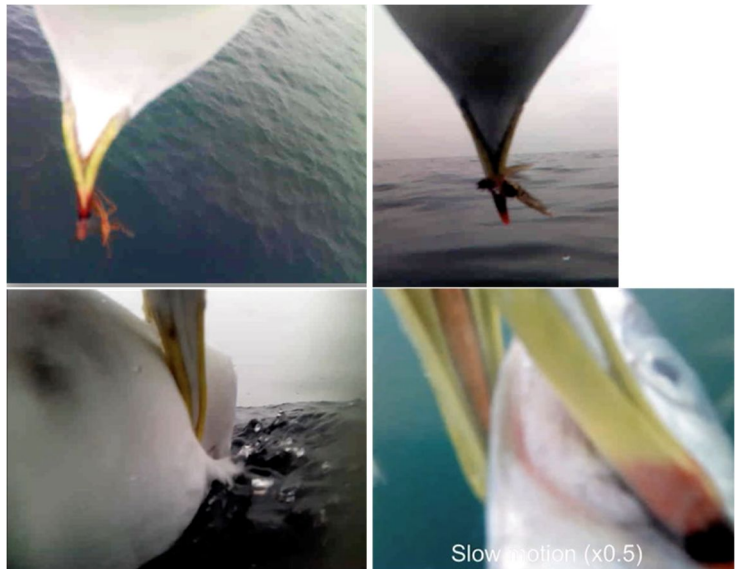


図3. ログボットによるウミネコの海上での採餌の瞬間. 上段写真は、海洋上で飛翔しながら昆虫を採餌していた瞬間で、下段写真はウミネコ他個体を攻撃して吐き戻させた魚類を採餌した様子を撮影。(引用: 水谷ら 2021, Kolpera, Mizutani et al. 2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 8件）

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Kume Yuna, Shirai Masaki, Mizutani Yuichi, Niizuma Yasuaki  | 4. 巻<br>18              |
| 2. 論文標題<br>Parental Birds Incubating Larger Clutches Regulate Their Field Metabolic Rates in Response to Environmental Changes            | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>Ornithological Science  | 6. 最初と最後の頁<br>161 ~ 161 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2326/osj.18.167  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |
| 1. 著者名<br>Korpela Joseph, Suzuki Hirokazu, Matsumoto Sakiko, Mizutani Yuichi, Samejima Masaki, Maekawa Takuya, Nakai Junichi, Yoda Ken    | 4. 巻<br>3               |
| 2. 論文標題<br>Machine learning enables improved runtime and precision for bio-loggers on seabirds  | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>Communications Biology  | 6. 最初と最後の頁<br>-         |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s42003-020-01356-8  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |
| 1. 著者名<br>Joseph M. Korpela, Hirokazu Suzuki, Sakiko Matsumoto, Yuichi Mizutani, Masaki Samejima, Takuya Maekawa, Junichi Nakai, Ken Yoda | 4. 巻<br>-               |
| 2. 論文標題<br>AI on animals: AI-assisted animal-borne logger never misses the moments that biologists want                                   | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>bioRxiv   | 6. 最初と最後の頁<br>-         |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1101/630053  | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |
| 1. 著者名<br>水谷 友一, 鈴木 宏和, 前川 卓也, Joseph Korpela, 宮竹 貴久, 越山 洋三, 依田 憲   | 4. 巻<br>70              |
| 2. 論文標題<br>海上飛翔中のウミネコによる昆虫捕食とその同定   | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>日本鳥学会誌  | 6. 最初と最後の頁<br>53 ~ 60   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3838/jjo.70.53   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>水谷友一, 鈴木宏和, 依田憲          |
| 2. 発表標題<br>酸化ストレス測定によるウミネコの移動コストの評価 |
| 3. 学会等名<br>日本生態学会第67回大会             |
| 4. 発表年<br>2020年                     |

|                              |
|------------------------------|
| 1. 発表者名<br>水谷友一・依田憲          |
| 2. 発表標題<br>抱卵期のウミネコの酸化ストレス変化 |
| 3. 学会等名<br>第66回日本生態学会大会      |
| 4. 発表年<br>2019年              |

〔図書〕 計1件

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| 1. 著者名<br>水谷友一 | 4. 発行年<br>2018年 |
| 2. 出版社<br>羊土社  | 5. 総ページ数<br>145 |
| 3. 書名<br>実験医学  |                 |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

|         |                           |                       |    |
|---------|---------------------------|-----------------------|----|
| 6. 研究組織 | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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 |
|---------|---------|
|---------|---------|