

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 Energy and time allocation in streaked shearwater during the chick-rearing period

(育雛期におけるオオミズナギドリのエネルギーおよび時間配分)

氏 名 白井 正樹

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、生理学的・工学的手法を用いて、長寿命海鳥種オオミズナギドリの育雛期における採餌・繁殖へのエネルギーと時間の配分、および実験的な繁殖コストの増加に対する採餌行動と繁殖成績との関係について明らかにしたものである。

1章では、動物の繁殖投資戦略の原理について述べた後、海鳥類の生活史特性と繁殖投資戦略に関する先行研究について整理して概説した。一般的に海鳥類は長寿命で、一回の繁殖で生む子が少なく、繁殖開始年齢が高いという独特の生活史特性を持つ。将来の繁殖可能性の高い動物では親は自身の生存を優先するため、繁殖コストが増加した際に子への投資量を減少させることが予測されている。しかし、海鳥類の先行研究では、繁殖コストの人為的増加に対して親鳥は雛への投資量を維持することもあった。理論予測と異なるこのような結果がもたらされる理由として2つ考えられる。一つ目は、野外で自由に活動する動物のエネルギー消費速度、すなわち代謝速度を正しく計測した研究が少ないためである。野生動物の代謝速度測定には、二種類の安定同位体 ( $^{18}\text{O}$ 、 $^2\text{H}$ ) を投与し採血を行うことで得られる、安定同位体排出速度の差から二酸化炭素排出速度を推定する二重標識水法がよく利用される。しかし、野外条件を反映した精度検証実験が困難であるため、この手法の正確度や再現性に関しては不明な点が多い。もう一つは、海鳥類の柔軟な採餌戦略の存在が挙げられる。海鳥類は、変動の大きな海洋の餌資源に依存するため、その変動に応答して親鳥は採餌にかかるコストを変化させることが知られている。そのため、繁殖コストの増加に対して、親鳥は自身のエネルギー要求量を調節することで雛へのエネルギー供給量を維持することが考えられるが、先行研究ではほとんど

考慮されていない。

2章では、野外での代謝速度を正確に推定するために、二重標識水法と呼気ガスチャンバー法でオオミズナギドリの代謝速度を同時に計測し、二重標識水法の再現性および正確度を評価した。安定同位体排出量の異なる環境（A群：非着水状態で24時間計測、B群：非着水・48時間、C群：着水・24時間）をオオミズナギドリに経験させ、代謝速度を求めた。同一個体の血液サンプルを繰り返し分析することで個体毎に代謝速度の変動係数を求めたところ、最も安定同位体排出量が少ないA群に比べて、B群およびC群では低い値を示し、代謝速度の再現性が高いことが示された。これまでも二重標識水法の再現性に影響する要因として安定同位体分析時のばらつきが指摘されてきたが、安定同位体排出量の増加によってその影響が軽減されることが示唆された。一方で、B群やC群では二重標識水法による代謝速度が呼気ガスチャンバー法の値に比べて30%以上過大に推定された。これは、オルニチン回路などの生体内の代謝プロセスによって $^2\text{H}$ や $^{18}\text{O}$ の排出速度が過小あるいは過大に推定されたことによると考えられ、野外で推定された代謝速度を校正することの重要性を示している。

次に3章では、オオミズナギドリの採餌戦略の柔軟性を理解し、繁殖投資戦略を明らかにするために、2012年と2013年の育雛期に2種類の実験を行った。まず、海洋での採餌戦略を明らかにするために、2章の結果をもとに校正した二重標識水法と、動物装着型データロガーを用いて、育雛期の親鳥が採餌旅行中に経験する代謝速度（FMR）と行動配分を計測した。FMRは採餌旅行期間が延びるに従って減少する一方、採餌旅行中の親鳥の体重は短時間旅行では減少し、長時間旅行では増加する傾向を示した。また、2013年よりも2012年の方がFMRは低く、親鳥は採餌にかかるコストを抑制していたと考えられる。行動配分に年差は見られなかったが、体脂肪率と負の相関を示すと考えられる体水分率が2012年の方が低かった。脂肪は他の体組織に比べて代謝速度が低いため、体組成の違いがFMRの年差を生み出した直接的な要因と考えられる。

続いて、海洋環境と親鳥のエネルギー要求量の変化が繁殖成績に与える影響を明らかにするために、繁殖つがいの雌雄どちらかの翼端を切り、翼面積を減少させて飛行コストを増加させた（雄クリップ群、雌クリップ群）。これらのつがいと対照群の親鳥に動物装着型データロガーを装着して約1ヶ月間行動追跡するとともに、それぞれの雛の成長を巣立ちまで計測した。2012年の対照群は2013年に比べて長期間の採餌旅行を行っており、その結果雛への給餌頻度は低く、雛の最大体重および巣立ち成功率も低かった。これらの結果から、2012年はオオミズナギドリの繁殖

にとって好ましくない海洋環境であったことが示唆された。

さらに、対照群とクリップ群を比較したところ、2013年では、クリップ群の個体は雌雄ともに採餌旅行期間を延ばし、着水時間割合を減少させた。クリップ個体の実験前後の体重変化は対照群と差がなく、つがい相手の行動や雛の成長にも明確な影響は見られなかったことから、クリップ個体は採餌旅行を長期化することによって増加した飛翔コストを補償したと考えられる。一方2012年では、クリップ個体は行動変化を示さなかったが、つがい相手は雌雄に関わらず着水頻度を低下させた。また、雌クリップ群では雛の成長に影響は見られなかったが、雄クリップ群では巣立ち体重が対照群の雛に比べて低く、最大体重到達日齢、巣立ち日齢に早く達した。最大体重や成長速度には差がみられなかったため、親鳥が給餌期間を短縮したことで雛へのエネルギー供給が減少したことが示唆された。実験前後の親鳥の体重変化は対照群とクリップ群の間で違いが見られなかったことから、クリップ個体の増加した飛翔コストはクリップ個体自身ではなくつがい相手や雛に課されたと考えられる。以上の結果は、オオミズナギドリは、餌環境と自身の栄養状態という長期的および短期的な変動の両方に応答して、採餌・繁殖にかかるエネルギーと時間を柔軟に変化させることを示している。また、親鳥は好ましくない海洋環境でエネルギー要求量の増加を経験した場合、雛への投資よりも自身の生存を優先することを示していると考えられた。

4章では、各章での結果を受けて、まず二重標識水法に関する考察を行い、種間比較を可能にするにあたって投与した安定同位体の体内での詳細な排出経路を理解することの重要性を述べた。次に、餌の利用可能性の低下に対する長寿命種の生理的応答について総合的に考察した。最後に、海鳥類の繁殖投資戦略を明らかにする上で方法論について考察した。本研究の結果は、海鳥類は好ましくない海洋環境下でのみ現在と将来の繁殖のトレードオフに直面することを示唆しており、単純な実験的繁殖コストの増加だけでは繁殖戦略の評価が困難であることを示している。今後海鳥類の生活史戦略を明らかにしていくには、環境の変動と親の生理的・行動的対応、そして繁殖への影響という一連の流れを考慮した総合的な評価が重要となるだろう。