

## 審査の結果の要旨

氏名 後藤 佑介

動物のナビゲーション能力は昔から研究者の興味を引きつけてきたが、動物追跡技術の発達により、近年再び注目を浴びる研究課題となりつつある。GPS や人工衛星追跡技術により、大規模で長期間におよぶ経路を高分解能で測定することが数多くの動物で可能となった。しかしながら、長距離移動する動物の定位に関する能力や環境に応じた移動戦略はまだよく分かっていない。飛ぶ鳥の移動は風の影響を強く受ける。そのため、風に対応した鳥の動きを調べることができれば、鳥のナビゲーション能力や移動戦略を知ることができる。しかし、広い行動範囲を持つ鳥が経験する風や、風に対する鳥の移動ベクトル(対気速度ベクトル)を測定するのは難しかった。本研究では、海鳥に搭載した GPS で得られる対地速度ベクトルのみから、海上風ベクトルと動物の対気速度ベクトルを推定する新しい統計モデルを考案している。このモデルをオオミズナギドリ *Calonectris leucomelas* とワタリアホウドリ *Diomedea exulans* という2種の海鳥の経路データに適用し、目印の無い外洋で目的地に向かって移動する鳥が、風に対していかに対応して長距離移動を達成したのかを調べている。

GPSを用いて記録されたオオミズナギドリの経路データから、1分毎の対地速度ベクトルを算出し、前後25分間、合計51のベクトルの分布を見たところ、平均ベクトルの左右に対称的な分布型とならず、左右非対称に分布することがわかった。この非対称性を利用し、対地速度ベクトルの分布形から、風ベクトルと鳥の対気ベクトルを推定する統計モデルを考案している。このモデルから推定された風ベクトルが、人工衛星データを元に推定された風ベクトル(真値)と有意に相関したことから、本手法による推定精度は検証されている。採餌を終えて繁殖を行う島に戻る間のオオミズナギドリの経路データから、上記の方法により風ベクトル・対気ベクトル・対地ベクトルを算出し、横風を受けながら飛翔する鳥の方針を調べたところ、オオミズナギドリは横風を相殺するよう、対気ベクトルを風上方向に向け、結果的に目的とする方角に向かって直線的に飛翔していることが判明した。区域を3つに分けてより詳しくみると、襟裳岬を離れて間もない岸寄りを飛んでいる時は、繁殖地のある島を目的方向とし、横風を完全相殺するように対気速度ベクトルを風上方向に向けて飛翔していた。沖合い区域を飛ぶ間は、目的とする方向を島からやや右寄りの海

岸方向に向けつつ、部分的に横風を相殺して飛翔していた。最終目的地である島が近づいてくると、目的とする方向を海岸にシフトさせつつ横風を完全相殺するよう飛翔していた。目印の無い海上でこのような調節を達成していたという事実は、オオミズナギドリに地図感覚や方位感覚などの能力が備わっていることを示すものである。ただし、精度が万全ではないため、最終目的地である島を通り過ぎることがないように、まず海岸線に到達し、その後海岸線沿いに南下して島に戻るといった堅実な方針を採用していることが示唆された。

南インド洋の亜南極圏に位置する島で繁殖を行うワタリアホウドリにGPSを搭載して得られた経路データから対気速度ベクトルと風ベクトルを推定するために、前述の統計モデルを頑強な推定手法である状態空間モデルに拡張した。これによって時空間変動する風ベクトルや対気速度ベクトルを推定することが可能となっている。1分間隔で推定された風ベクトルは、人工衛星データを元に推定された風ベクトル（真値）と有意に相関した。採餌旅行後半に鳥が帰巢する際、島に向かって追い風が吹く状況下で、なぜか数十キロメートルにも及ぶ幅でジグザグ飛翔する様子が記録されていた。ワタリアホウドリは海上風の鉛直勾配からエネルギーを得る飛翔方法であるダイナミックソアリングを多用している。ダイナミックソアリングをする鳥が風下のゴールへ移動する際に所要時間が最小化となる飛翔方法を、物理モデルから計算したところ、直線的に目的地に向かう飛び方と、大きくジグザグしながら目的地へ向かう飛び方の2つが最適な飛翔方法として選択された。ここで、風ベクトルに揺らぎがあるという前提条件を付加すると、後者の飛び方が移動時間を最小化する方法であると選択され、実際のワタリアホウドリが野外環境下で採用している飛び方に一致した。

以上の結果から、ミズナギドリ目鳥類が横風を相殺しつつ目的の方向に飛翔し、追い風の際は最短時間で目的地に到達するために大規模なジグザグ飛行を行うといった実態が明らかになった。バイオロギング手法によって野外調査で得られた大規模データに対し、新たに考案された統計モデルを用いた解析を行い、得られた傾向を解釈するための合理的理由を明らかにした本研究は、学術上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士(農学)の学位論文として価値あるものと認めた。