

海鳥バイオリギングで推定した海上風のアンサンブルデータ同化

澤田尚樹（京大院理）・吉田聡（京大防災研）・福井真（気象研）・山崎哲（JAMSTEC）
依田憲・後藤佑介（名古屋大）

1. はじめに

バイオリギングは、動物に小型のデータロガーを取り付けてその生態や環境場を計測する手法であり、近年ではこの手法を気象観測に応用する研究が始まっている。Yonehara et al. (2016)や Goto et al. (2017) は、記録された海鳥の位置情報から海上風を推定する手法を考案した。また、Lempidakis et al. (2022)や Nourani et al. (2023)は、海鳥であるオオミズナギドリやアホウドリが強風で陸に流されるのを避けるために台風の眼に向かっていく習性があることを指摘している。現状では台風内部の直接観測はコストのかかる航空機観測に限られるが、今後はこのような海鳥を使った台風直接観測の可能性も考えられる。

そこで、本研究ではまず2015年から2019年までの鳥位置情報データに対して Goto et al. (2017)の手法を適用して海上風を推定した。事例解析として、2018年台風20号 Cimaron が日本海を通過した事例について、この鳥推定風のデータ同化実験を行い、鳥推定風が解析値に与える影響を調べた。

さらに、Shiomi (2023)で報告された台風内部を飛行したオオミズナギドリのデータについて解析を行い、バイオリギングを使った台風直接観測の可能性を示した。

2. 同化に使用した鳥推定風データ

本研究で使用したのは、新潟県粟島に春から秋にかけて営巣する海鳥であるオオミズナギドリの GPS トラッキングデータである。この鳥は、日本海から北海道の沿岸にかけて移動し

ながら採餌飛行をすることで知られている。2015年から2019年までの計106羽分のデータに対して Goto et al. (2017)の手法を適用し、海上風のデータセットを作成した。この鳥推定風に対して、複数の衛星観測を組み合わせた海上風データである NOAA/NCEI Blended Seawind を真値とみなして精度検証を行った。ただし、オオミズナギドリは基本的に海上付近を飛行することで知られているため、その高度を2mと仮定し、中立大気を仮定した対数則によって高度10mの衛星風を高度2mの風に変換して比較を行った。東西風、南北風それぞれについて衛星風と鳥推定風の差分をとり、誤差の頻度分布を描いたのが図1である。この誤差の分散から、データ同化に必要な観測値の重み付けに相当する観測誤差を3.6m/sと設定した。

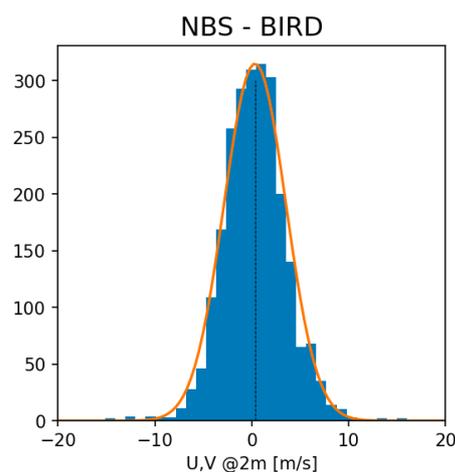


図1 鳥推定風の誤差ヒストグラム
横軸は衛星風に対する鳥推定風の誤差。頻度は東西風と南北風それぞれについて計算した誤差を積算した。

3. 実験設定

データ同化実験には、気象庁非静力学モデル NHM にデータ同化手法として局所アンサンブル変換カルマンフィルタ LETKF を組み合わせた、NHM-LETKF (Fukui et al. ; 2018) を使用した。これを用いて、NCEP PREPBUFR (NCEP の現業解析で使用されている観測データセット) のうち地上・高層観測のみを同化する (NOBIRD) 実験と、それらに加えて鳥推定風を同化する BIRD 実験を行い、その結果を比較して鳥観測のインパクトを評価した。計算期間は2018年8月1日から8月25日までで、

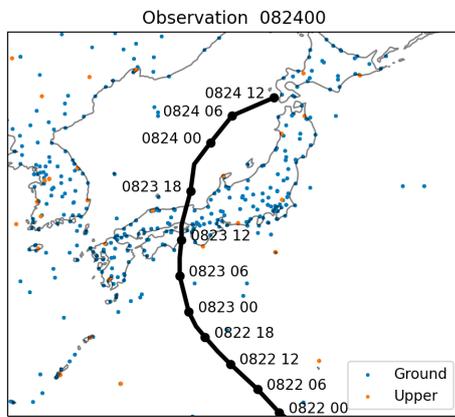


図 4 同化に使用した地上・高層観測データ
黒はベストトラック、青は地上観測点、橙は高層観測点で、8月24日0時のデータである。

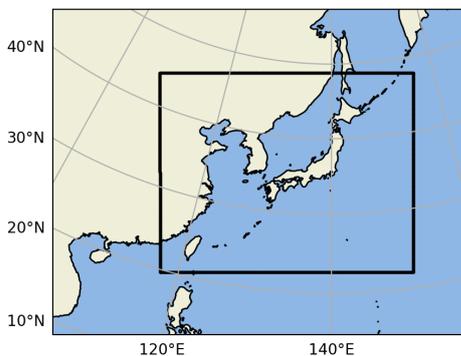


図 3 NHM-LETKF の計算領域
水平解像度は外側領域 (D1) が 25km、内側領域 (D2) が 5km である。

このうち鳥推定風データがあったのは8月22日から8月25日の間である。また、台風の再現性を向上させるため、両実験とも D1 にベストトラックの中心位置と中心気圧を同化 (観測誤差: 2hPa) した。

アンサンブルメンバー数は30、初期値および境界値には JRA-55、海面水温には HIMSST を用いた。なお、本システムでは一般的な LETKF と異なり、摂動を与えていないコントロールランに対して解析を行っているため、以降で議論する解析値や第一推定値はコントロールランの結果である。

4. 結果

NOBIRD と BIRD の結果それぞれについて、海面気圧の極小値を追跡して台風のトラッキングを行った。進路には NOBIRD と BIRD で大きな変化は見られなかった (図 2)。一方、中心気圧には変化があった (図 5)。24日6時で BIRD は NOBIRD に比べて中心気圧が大きく上昇していることがわかる。アンサンブル予報値にも同様の傾向が見られた。

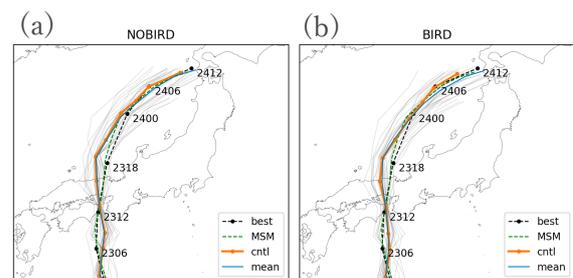


図 2 Cimaron の中心経路

(a) NOBIRD、(b) BIRD

黒はベストトラック、橙はコントロールラン、灰は各メンバー、青はアンサンブル平均を示す。緑は MSM を同様にトラッキングしたものである。

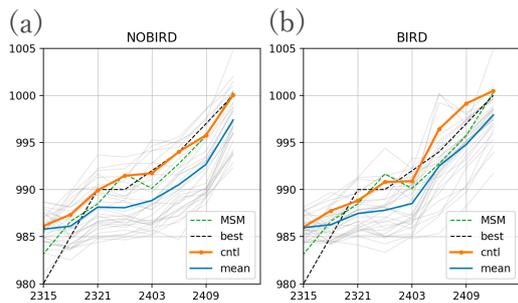


図 5 Cimaron 中心気圧の時系列

(a) NOBIRD、(b) BIRD

横軸は時刻、縦軸は中心気圧を表す。色は図 2 と同様である。

NOBIRD と BIRD で大きな変化が見られた、24 日 6 時の第一推定値と鳥観測値を図 7 に示す。この時、鳥推定風は台風中心に近いところで、第一推定値よりも弱い風を観測していた。

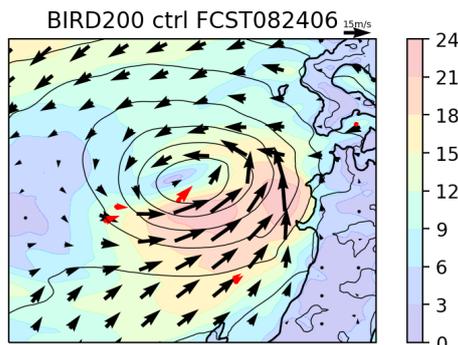


図 7 24 日 6 時の第一推定値と鳥観測値
黒矢印とコンターはそれぞれ BIRD 実験の地上風と海面気圧、陰影は風速、赤矢印は鳥推定風を表す。

同時刻について、BIRD のインクリメント(解析値-第一推定値)と、NOBIRD と BIRD のインクリメント差を示す。前者は地上観測と鳥観測の効果の重ね合わせであり、後者はそこから地上観測の効果を除いて鳥観測の効果抽出したものと解釈できる。図 6(a)より、地上風は時計回りのインクリメントになっており、こ

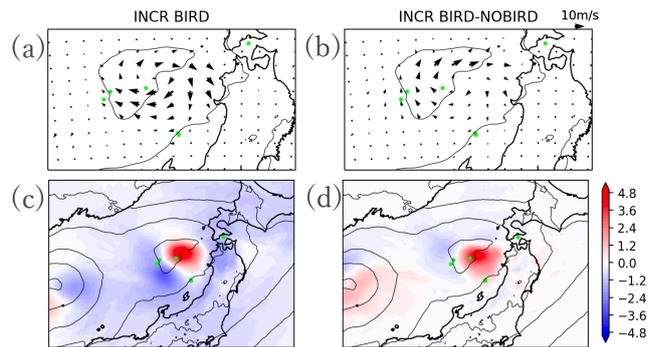


図 6 24 日 6 時のインクリメント (Incr.)

(a) BIRD 実験の地上風 Incr.

(b) 地上風の Incr. 差分 (BIRD-NOBIRD)

(c) BIRD 実験の海面気圧 Incr.

(d) 海面気圧の Incr. 差分 (BIRD-NOBIRD)

コンターは BIRD 解析値、緑は鳥観測点を表す。

これは台風に伴う地上の循環の弱化を表現している。図 6(c)より、BIRD では台風中心をやや西にずらしつつ、中心気圧を上昇させていることがわかる。図 6(b)(d)より、BIRD は NOBIRD と比べて渦の弱化や中心気圧の弱化が顕著であり、鳥観測が台風の弱化をもたらしたことがわかる。

最後に、同時刻の解析値で見た台風中心と台風中心に最も近い鳥観測点を結ぶ断面で切った台風鉛直構造を示す(図 8)。BIRD は NOBIRD と比べて高度 500hPa 程度まで接線風・動径風ともに弱まっていることがわかり、これは地上の鳥推定風の影響が鉛直方向にも伝播したことを示している。

以上の結果から、本事例においては海上の鳥推定風の同化によって台風強度が弱まったことが示された。

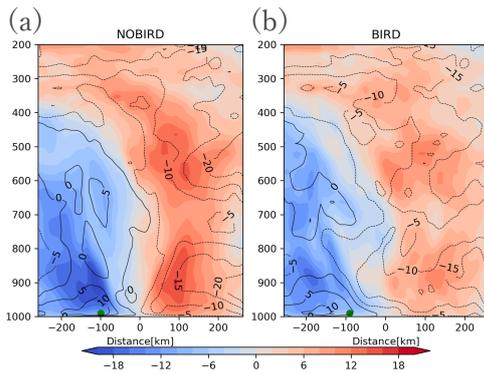


図 8 方位角平均した台風鉛直構造

(a) NOBIRD、(b) BIRD

横軸は NOBIRD, BIRD それぞれで定めた台風中心からの距離、縦軸は高度 [hPa]、陰影は方位角平均した接線風、コンターは動径風を表す。緑は鳥観測点である。

5. 2019 年台風 15 号 Faxai の内部を飛行したオオミズナギドリデータの解析

Shiomi (2023)は、2019 年台風 15 号 Faxai の内部を飛行したオオミズナギドリのトラッキングデータを報告している。この鳥は台風中心から数十 km を巡回し、最大で高度 4700m 付近まで巻き上げられていた。そのような巡回飛行を示していたのは、2019 年 9 月 8 日 14 時から 23 時頃までであった。そこで本研究では、この時に記録されていた 15 分間隔の位置情報から風速を推定し、気象庁 MSM (水平解像度

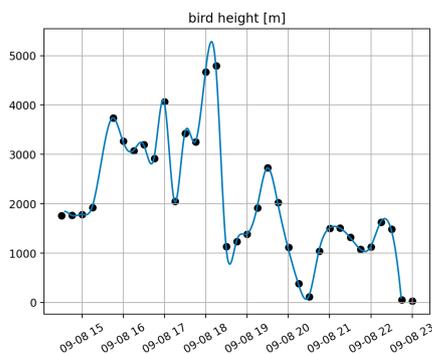


図 9 鳥飛行高度の時系列

5km) およびドップラーレーダー風 (解像度は水平・鉛直ともに 1km) との比較を行った。同時に記録されていた気温についても、MSM との比較を行った。

風速推定については、15 分間隔の位置情報を 1 分間隔にスプライン補間し、前方差分をとることで水平移動速度を計算した。巡回飛行中のトラッキングと水平移動速度を示したのが図 10 である。

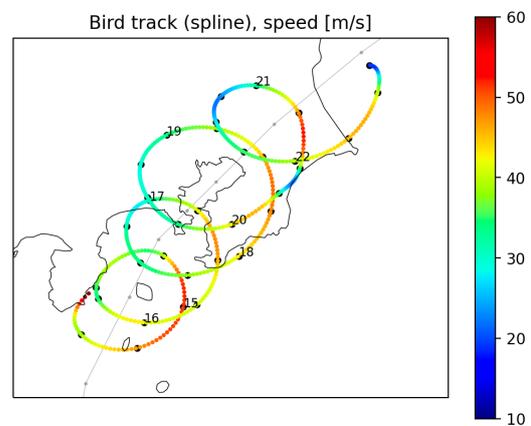


図 10 巡回飛行した鳥の経路

黒は 15 分間隔の元データ、カラーは 1 分補間した位置から計算した鳥の移動速度、灰線はベストトラック、数字は時刻 [hour] である。

これより、台風の西側よりも東側を飛行中のときの方が移動速度は速くなっており、一般的な台風の水平風速分布と対応していることがわかる。

この移動速度と気象庁ドップラーレーダー風との比較を行ったのが図 11 である。鳥移動ベクトルとレーダー風ベクトルは概ね整合的であることがわかる。相模湾上空で両者の差がやや大きくなっているのは、レーダー観測地点 (千葉県柏市) からの距離が遠くレーダー観測に誤差がある可能性が考えられる。

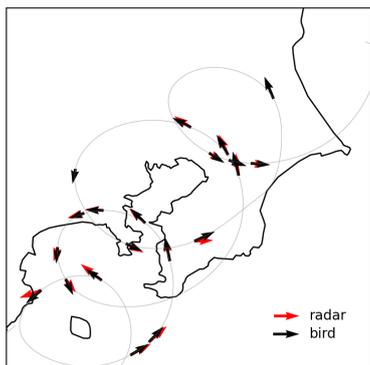


図 11 鳥推定風とレーダー風の比較
鳥高度とレーダー観測高度の差が 100m 以内のデータのみ描画した。

8日18時について、MSMの台風中心と鳥観測点を結ぶ気温鉛直断面図を描いたのが図12である。この時、鳥は台風暖気核の縁辺部を観測していたことがわかる。この時、鳥はMSMより2.5K高い値を示していた。

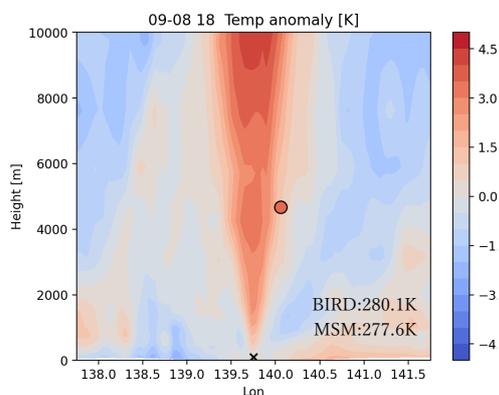


図 12 MSM 気温鉛直断面図
陰影は気温の水平平均からの偏差。黒丸は鳥観測点を表す。

6. まとめ

海鳥バイオリギングデータから推定した海上風を用いたデータ同化実験を行った結果、これを同化しない場合と比べて地表風の循環は弱まり、台風中心気圧は上昇した。この影響は鉛直方向にも伝播したことが確認された。さらに、Faxai 内部を飛行したオオミズナギドリデータの解析を行い、鳥の水平移動速度が台風の水平風速と概ね一致する結果が得られた。この時、暖気核の縁辺部を観測していたこともわかった。

引き続きバイオリギングを使った台風直接観測データの蓄積が期待されるとともに、得られたデータを同化することによる数値天気予報へのインパクトについて今後も研究を進める予定である。

参考文献

- Fukui, et al. (2018). *JMSJ*, 96(6), 565-585.
 Goto, et al. (2017). *Sci. Adv.*, 3(9), e1700097.
 Lempidakis, et al. (2022). *PNAS*, 119(41), e2212925119.
 Nourani, et al. (2023). *Curr. Biol.*, 33(6), 1179-1184.
 Shiomi, (2023). *Ecology*, 104(12), e4161.
 Yonehara, et al. (2016). *PNAS*, 113(32), 9039-9044

