



日本バイオロギング研究会会報

日本バイオロギング研究会会報 No. 206

発行日 2023年11月5日 発行所 日本バイオロギング研究会（会長 佐藤克文）

発行人 三田村啓理 京都大学フィールド科学教育研究センター

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

TEL&FAX 075-753-6227

E-mail: BioLoggingScience@gmail.com

会費納入先：みずほ銀行 出町支店 普通口座 2464557 日本バイオロギング研究会



もくじ

新しい発見

ブラウントラウトはサケ稚魚放流地点に集まらない

本多 健太郎（水産研究・教育機構 水産資源研究所） 2

大型台風に巻き込まれたけど乗り切ったオオミズナギドリ 塩見こずえ（東北大学 学際科学フロンティア研究所） 3

荒波と暴風の中で飛び立つワタリアホウドリ 上坂 怜生（東京大学 大気海洋研究所） 5

何が鳥の飛行の多様化を可能にしたのか？：小翼羽に注目して 田谷 昌仁（東北大学大学院 生命科学研究所） 8

バイオロギングカレンダー2024

フォトコンテスト結果発表

塩見こずえ（東北大学 学際科学フロンティア研究所） 12

「フォトコンテスト1位：ロガー受信機に乗るウミネコ」

撮影者：鈴木世莉奈（名古屋大学 環境学研究科）

新しい発見

ブラントラウトはサケ稚魚放流地点に集まらない

本多 健太郎（水産研究・教育機構 水産資源研究所）

イワシの群れに集まるマグロや海鳥、ヌーやシマウマが川を横断するときに集まるワニなど、餌密度が極端に高い場所に捕食者が集まる例が知られています。

北日本の多くの河川では増殖目的でサケのふ化放流が行われています。日本海に注ぐ北海道石狩川水系の千歳川では毎年約 3 千万尾のサケ稚魚が 3~4 月に上流に位置する水産資源研究所千歳さけます事業所（以下、ふ化場）から放流され、一回（一日）当たりの放流数は 100 万尾を超えます。私が初めて千歳のふ化場を訪れた 2015 年、ふ化場の方々から「ここではサケ稚魚放流時期になると外来サケ科である大型のブラントラウト（以下、ブラウン）が稚魚を食べるためにあちこちから集まって来るんだ」と説明を受けました。当時の同僚からもそれを否定する意見は聞かれず、それが本当なら面白い！とそのシーンを妄想していました。そして、もしブラウンの集合が著しい場合、放流地点を分散させるなどして捕食される稚魚の総数を減らすこともできるのでは？と周囲を説得し、真相を確かめることにしました。

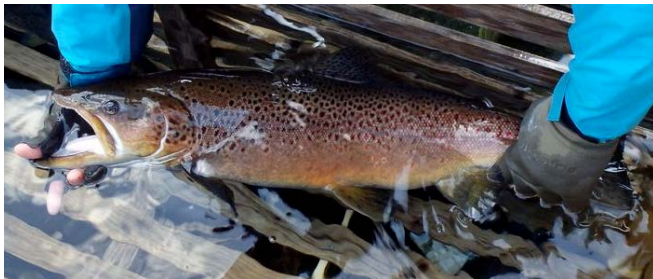


図 1. 超音波発信器を腹腔内に挿入したブラントラウト

この仮説の検証のため、超音波テレメトリーと潜水目視調査を併用しました。2019 年秋に 8 台の受信機を千歳川に配置した後、ふ化場から約 10km 下流で捕獲し、発信器を装着して放流したブラウン 14 尾の行動を追跡しました。翌年 3 月になり、そろそろ何個体か上がって来るぞと期待しながら頻りに受信機のデータを読み出すも、一尾もふ化場付近まで遡上して来ません。目視調査でもふ化場付近のブラウンの個体数は増えず、あれ？あれ？おかしいな、と焦り始めました。結局 4 月になっても、同じ調査をもう一年繰り返しても（さらに 20 尾を追跡）ブラウンがサケ稚魚放流期にふ化場付近に集まることはありませんでした。

ブラウンが集まらないのは、大量の稚魚が短時間で流れ下り、下流にいても十分な餌にありつけるからではないかと考え至りました。そこで、ふ化場から一定距

離（約 10km）下流にいるブラウンによるサケ稚魚の捕食状況を調べることにしました。なお、これがミソなのですが、ふ化場から放流されるすべてのサケ稚魚の耳石にはバーコード状の標識が付けられています。そのため、複数ある標識の内、その年に初めて使われる標識の付いた稚魚が放流された翌日にブラウンを捕まえて、その胃内から検出した稚魚の耳石を調べれば、前日に放流した稚魚の捕食割合がわかります。食性分析の結果、下流で捕まえたブラウンの多くが 100 尾以上の稚魚を捕食し（これはふ化場付近のブラウンによる捕食尾数と同程度）、しかも前日に放流した稚魚がその 90% 以上を占めました。これらはすなわち、下流のブラウンがわざわざふ化場付近まで遡上する理由がないことを示唆しています。



図 2. ブラントラウトの胃内からこぼれ出るサケ稚魚

というわけで、当初の狙いは外れ、やや切なくもふ化場付近での“受信ゼロ”がテレメトリーの主な結果になりました。千歳川のブラウンは集まりませんが、では、どのような条件が揃うとサケ稚魚に対して捕食者は集まるのでしょうか？

Honda K, Hasegawa K, Ono I, Miyashita K (2023) Piscivorous brown trout *Salmo trutta* does not migrate from distant downstream habitats to a massive release site for chum salmon *Oncorhynchus keta* fry in the Chitose River, northern Japan. *Environ Biol Fish* 106: 707-715.

大型台風に巻き込まれたけど乗り切ったオオミズナギドリ

塩見こずえ（東北大学 学際科学フロンティア研究所）



Shiomi, K.

Swirling flight of a seabird caught in a huge typhoon high over mainland Japan

Ecology, e4161 (2023) <https://doi.org/10.1002/ecy.4161>



私の Google アラートメールには、「オオミズナギドリ」がキーワードとして登録されています。普段はほとんど通知がこないのですが、オオミズナギドリアラートが少し増える時期があります。大きな台風が過ぎた後です。オオミズナギドリの少なくとも成鳥はもっぱら海の上を飛びますが（※）、台風後は内陸に落鳥したオオミズナギドリが保護され、ニュースとなるのです。

※ 日本海側の島から巣立った幼鳥は本州を横切って南へ渡ることが知られています (Yoda et al. 2017, *Curr Biol*; Yoda et al. 2021, *Ecology*)。おそらく横断に失敗して落鳥した幼鳥が原因で、この時期もアラートメールが少し増えます。

一方で、オオミズナギドリが台風で内陸へ飛ばされるのを能動的に回避していることを示唆する行動も報告されています。Lempidakis ら (2022, *PNAS*) は、台風に伴う強風に遭遇したオオミズナギドリが台風の目の方へ向かう傾向があることを明らかにしました。相対的に風の弱いエリアに移動することによって内陸への落鳥を避けているのだと考えられます。同様の行動は、他の種でも報告されています (Nourani et al. 2023, *Curr Biol*)。

つまりオオミズナギドリは、台風で内陸に飛ばされてしまうリスクに晒されているが、それを回避する行動パターンも備えているということです。

■ 前置きが長くなりましたが、今回の論文では、台風を「うまく」回避することはできなかったが、内陸への落鳥をギリギリのところで回避したと思われるオオミズナギドリ 1 羽の移動経路を新たに報告しました。

2019 年 8 月、伊豆諸島御蔵島で繁殖するオオミズナギドリ 14 個体に GPS ロガーを装着しました。そしてその翌月の 9 月 8 日、大型台風 (FAXAI) が御蔵島の西側を通過して本州に上陸しました。この時、GPS 個体のうちの 1 羽が台風とともに本州上空を移動している様子が記録されていました。通常の飛行時にはありえない速度と高度 (※) でぐるぐると回り、最終的には台風とともに海へと抜けて生き延びたようです。

(※) 通常は時速 30~40km 程度で水面近くを飛んでいることが多いのに対して、「台風巻き込まれ期」は最大時速 170km・最大高度 4000m でした

■ 上述の論文 (Lempidakis et al. 2022, *PNAS*) では、落鳥を回避するためには鳥自身と本州と台風の相対的な位置関係を把握するナビゲーション能力が必要であることが示唆されています。

今回台風に巻き込まれていたオオミズナギドリのトリップ経路を見てみると、他の個体に比べて岸に近いルートを飛んでいることが多い印象を受けました。海岸線は長距離移動時のガイドとして機能し得ることが過去の研究で示されています (Shiomi et al. 2019, *Behaviour*)。もしかするとこの個体は空間認知能力があまり高くなく、そのことが台風に巻き込まれてしまった一因だったのかもしれない。

■ 1 羽のみのデータではありますが、台風回避の失敗 (落鳥) と成功の境界線ギリギリの行動を記録した貴重な例だと考えています。

気候変動に伴って勢力の強い台風が増加している/今後増加していくことがいくつかの研究で示されていま

す。そのようなイレギュラーな気象イベントが野生動物にどのような影響をもたらしているのかを理解するためにも、今回報告したような行動データの蓄積が重要なのではないかと思います。

■ 引用文献：

Lempidakis, E., E. L. C. Shepard, A. N. Ross, S. Matsumoto, S. Koyama, I. Takeuchi, and K. Yoda

Pelagic seabirds reduce risk by flying into the eye of the storm

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 119: e2212925119 (2022)

(BLS 会報 199 号に紹介記事あり)

Nourani, E., K. Safi, S. de Grissac, D. J. Anderson, N. C. Cole, A. Fell, D. Grémillet, E. Lempidakis, M. Lerma, J. L. McKee, L. Pichegru, P. Provost, N. C. Rattenborg, P. G. Ryan, C. D. Santos, S. Schoombie, V. Tatayah, H. Weimerskirch, M. Wikelski, and E. L. C. Shepard

Seabird morphology determines operational wind speeds, tolerable maxima, and responses to extremes

Current Biology 33: 1179–1184.e3 (2023)

Shiomi, K., K. Sato, N. Katsumata, and K. Yoda

Temporal and spatial determinants of route selection in homing seabirds

Behaviour 156: 1165–1183 (2019)

Yoda, K., Yamamoto, T., Suzuki, H., Matsumoto, S., Muller, M., Yamamoto, M.

Compass orientation drives naïve pelagic seabirds to cross mountain ranges

Current Biology 27: R1152-1153 (2017)

Yoda, K., Okumura, M., Suzuki, H., Matsumoto, S., Koyama, S., Yamamoto, M.

Annual variations in the migration routes and survival of pelagic seabirds over mountain ranges

Ecology 102: e03297 (2021)

■ 余談：

論文のタイトルは、投稿前に原稿を読んでいた依田さん（名古屋大）と高橋さん（極地研）がくださったアイデアを組み合わせました。私が元々つけていたタイトルは今思えばパツとせず、それでは査読にまわしてもらえなかった気すらします。センスのある人になりたいです。

荒波と暴風の中で飛び立つワタリアホウドリ

上坂 怜生 (東京大学 大気海洋研究所)



こんにちは！東大海研ポスドクの上坂です！新しい論文が出ましたのでこちらで紹介いたします！内容を要約するとこんな感じです！

◇海鳥の行動記録から、気象観測や気象予報モデルでは分からない海洋の局所的な風や波の大きさを推定し、これらが海鳥の行動に与える影響を調べた。

◇地球上で最も大きな飛翔性海鳥であるワタリアホウドリの飛び立ちが風や波の存在によって大きく助けられていることが明らかになった。

背景

海洋に住む生物は、風や波などさまざまな環境から影響を受けながら生活しています。しかし、例えば海鳥がある場所を飛んでいたとして、そこにどのような風が吹いていたのかを知ろうとすると、これは非常に困難です。なぜなら、海洋で気象観測が行われている場所には限りがあり、海鳥がたまたまその観測点を飛んでいない限りその海鳥の周辺環境は分からないからです。海洋のある場所についてピンポイントで、特定の時間の風の強さや波の高さを調べるのは、気象予報モデルなどの計算能力が向上している現代でも意外と簡単ではありません。海洋生物を研究している方なら、同様の問題にぶつかったことがある人も多いと思います。

渡り鳥の経路のような時空間スケールの大きな行動を調べる場合には、調査動物と気象観測の間にある場所や時間のずれはある程度無視することができます。しかし、海鳥の一瞬の飛び立ちなど、秒単位で変化する行動を調べようとするとこの問題はより顕著になります。

海鳥にとって飛び立ちは非常に重要です。なぜなら、飛び立つ時には海面から自分の体を浮かせるために翼と脚を必死に動かす必要があり、ちょうど人間の全力疾走のように非常に体力を消耗するからです。特に、普段は風の利用してほとんど体力を使わずに飛んでいるアホウドリ類のような海鳥にとっては、飛び立ちが1日の中で最もエネルギーを消費する瞬間であり、1度の旅で消費するエネルギー量が飛び立ちの回数に左右されてしまう程です。そのため、飛び立ちが風や波から受ける影響を調べることは、気候変動が起こっている中での海鳥の将来を予想するための鍵を握っています。

内容

この研究では、世界で最も大きな飛翔性海鳥であるワタリアホウドリにロガーを装着することで移動経路や体の動きを記録し、彼らの飛び立ちを調べました。そして、飛び立ちの瞬間の風の強さや波の大きさを、飛び立ち直前の海上での動きや飛び立ち直後の飛行経路から推定しました。ワタリアホウドリが海面に着水している間は、自分から体を動かすことがあまりないため、基本的には波に任せてブイのように漂っています。そのため、浮かんでいるときの上下方向の運動をGPSの記録を元に調べることで波の高さを計算することができます。また、ワタリアホウドリの飛行は前述の通り風の力を利用しており、飛行スピードや飛行方向が風に大きく依存します。そのため、飛行経路を詳細に調べることで、風の強さと方向を逆算することができます。これらの方法によってこの研究では一般的な観測値や気象予報モデルでは入手できないワタリアホウドリの周辺の局所的な海洋環境条件を推定しました。

飛び立ちがどの程度容易にできたかは、翼や脚の運動量を調べることで判断しました。ワタリアホウドリに装着したロガーには、加速度計と呼ばれる、体の動き(揺れ)を記録するセンサーが搭載されています。ワタリアホウドリが飛び立ちを始めると、加速度計には翼の運動に起因する上下方向の揺れや脚の運動に起因する横方向の揺れが記録されます。これにより、羽ばたきの回数や離水までにかかった時間といった、飛び立ちの労力の指標を求めることができます。つまりこの研究では、ワタリアホウドリに装着したロガーのデータから、「波・風・飛び立ちの労力」の3つを推定するというアイデアを実現しています(図1)。

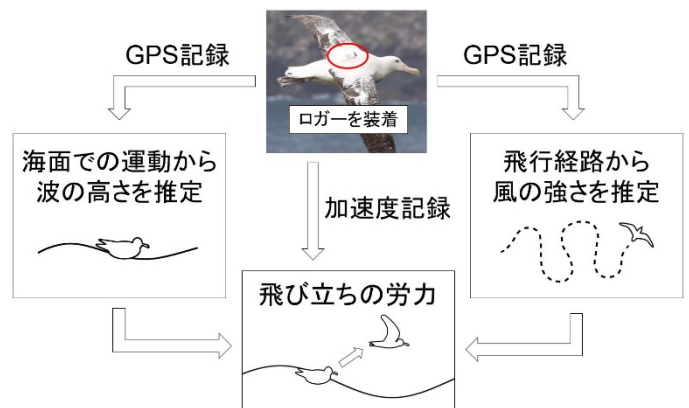


図1. 研究アイデアの概念図

主な結果と考察

この研究の結果、海洋環境条件と飛び立ちの労力、例えば波の高さと離水までにかかった時間を比べると、波が高ければ高い程より短い時間で飛び立てることが分かりました。飛び立ちの労力を評価したほかの指標を見ても、基本的に風が強くと波が高い場合には少ない羽ばたきで素早く飛び立てることが分かりました（図2）。

つぎに、風と波が飛び立ちに与える複合的な影響を調べるため、飛び立ち時の環境条件を風の強弱と波の高低で4つのグループに分けて比較しました。すると、風と波の両方が弱い場合にのみ飛び立ちに必要な労力が増え、風か波のどちらか一方さえ強ければ容易に飛び立っていることが判明しました（図3）。線形混合モデルを用いたシミュレーションでも同様の結果が得られ、ワタリアホウドリの飛び立ちが風と波の両方の存在に助けられていることが明らかになりました。さらに、ワタリアホウドリは目的地の方向に関わらず風上の方向（向かい風）に飛び立つことも確かめられました（図4）。次のページに図と解説を載せてあります。

風が強いと飛び立ちが容易になる理由は、ワタリアホウドリが風上を向いて飛び立つと風が強い時には翼が風を切る速度がより上がり、大きな揚力を獲得できるためだと考えられます。また、波が飛び立ちを容易にする理由は完全には明らかにはなっていませんが、波の形状により風が弱い時にでも飛び立ちに好ましい上昇気流が生み出されている可能性が考えられます。

今後の展望

これまで、アホウドリ類やミズナギドリ類などの海鳥が飛行する際には波の形状によって生み出された特別な上昇気流を利用しているという説が提唱されましたが、これを確かめた実験は存在していませんでした。本研究はワタリアホウドリの飛び立ちが波によって容易になっていることを実験的に示すものであり、その後の飛行にも波浪が大きく関係している可能性を力強くサポートしています。

また、ワタリアホウドリにとって非常に体力を使う行動である飛び立ちの労力が海洋環境によって変わるのであれば、気候変動に伴って彼らの生息域が大きく変化することも予想されます。飛び立ちに伴うエネルギー消費量の計算がさらに進めば、海洋生態系の将来の予想や保全の計画をさらに適切に行うことができると考えられます。

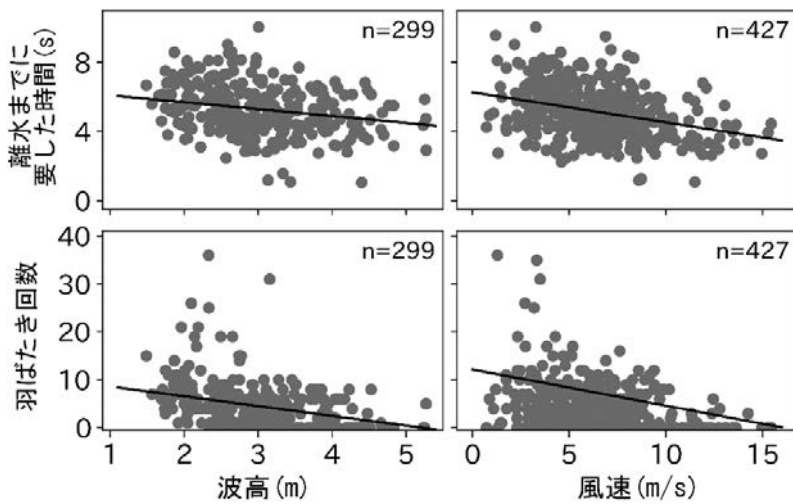
おまけ

この研究では研究室の先輩方と先生がフランス領亜南極のフィールドで取ってきたデータを使わせていただきました。ありがとうございました。私も今年の終わりがらフランス領亜南極へ調査に行き、その後もフランスの研究所で修業を積んでくる予定です。将来的に私のように後輩がデータを使ってくれることもあると思うので、丁寧に実験していいデータを取ってこられるように頑張ります。

論文情報

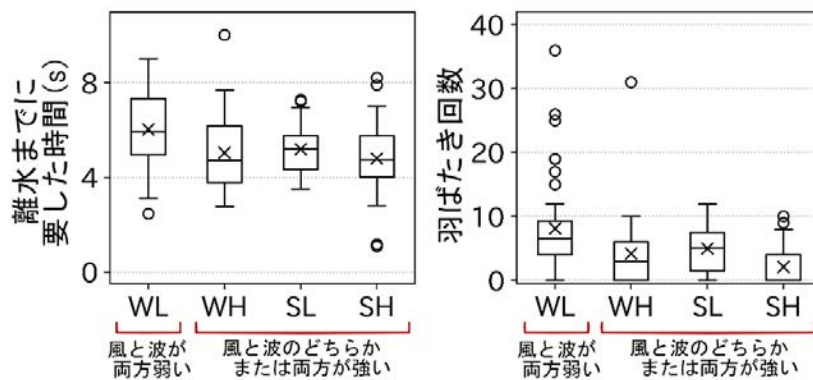
“Wandering albatrosses exert high take-off effort only when both wind and waves are gentle”
Leo Uesaka, Yusuke Goto, Masaru Naruoka, Henri Weimerskirch, Katsufumi Sato, Kentaro Q Sakamoto (2023) *eLife* 12:RP87016

図と解説が続きます↓



←図 2. ワタリアホウドリが飛び立ちに要する労力と環境条件(波高・風速)の関係

飛び立ちを開始してから海面を離れるまでの時間（上段）や飛び立ち時の羽ばたきの回数（下段）が波高（左列）や風速（右列）が大きくなるにつれて減少していることが分かります。

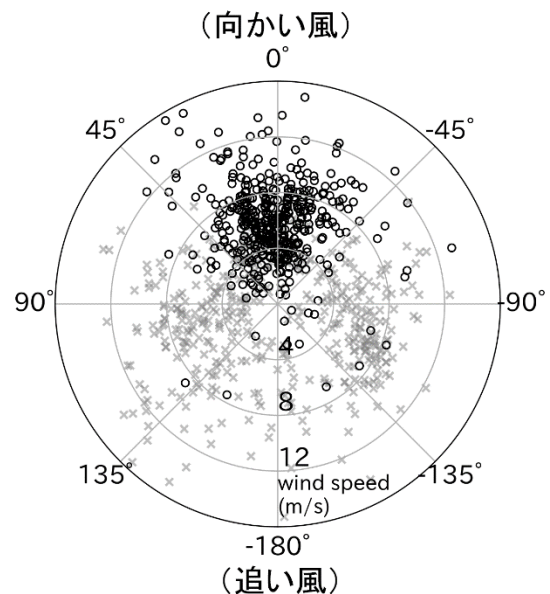


↑図 3. 飛び立ちに要する労力に対する波高と風速の複合的な影響

飛び立ち時の環境条件を風の強弱と波の高低で 4 つのグループに分けて比較した結果、風と波が両方とも弱い場合（WL）にのみ飛び立ちに要する労力が大きい結果となりました。風は弱い波が高い場合（WH）や逆に風は強い波が低い場合（SL）、風と波の両方が強い場合（SH）には労力が小さくなっています。×印は各グループの平均値を表しています。

→図 4. 風向に対する相対的な飛び立ち方向

風向に対する相対的な飛び立ち方向を表した黒丸の分布が 0°（向かい風）の方向に偏っており、ワタリアホウドリは風上に向かって飛び立つ傾向が高いことが分かります。また、灰色の×印は飛び立ち後 5 分間に移動した方向を表しており、必ずしも向かい風方向には偏っていないことが分かります。つまり、ワタリアホウドリは行き先に関わらず飛び立つ際には一度風上の方を向くということを意味しています。円の半径は風速を表しています。



何が鳥の飛行の多様化を可能にしたのか？：小翼羽に注目して

田谷 昌仁（東北大学大学院 生命科学研究科）

はじめに

自律的に長距離を高速で飛行するという鳥の大きな行動的特徴は、今日に至るまで多くの人類を魅了してきました。鳥の飛行やそれを実現する翼はしばしば自由の象徴として捉えられ、さまざまな場面で象徴的に扱われます。例えば自由への渴望を歌う有名な合唱曲のタイトルは「翼をください」ですし、夜間の野外調査の心強いサポーターとなるエナジードリンク“Red Bull”のキャッチコピーは“Gives you wings”です。

しかし、そんな自由の象徴である鳥の翼は、形態の変化に関しては実はそんなに自由ではないっぽい、というのが今回のお話の出発点です。

先行研究の整理：翼は制約が強い！

航空機の翼平面形（翼の投影図の形状）はその空力特性を大きく左右するため、航空機設計の最も重要な要素の一つです。そのため、多様な鳥の翼平面形＝翼の輪郭形状も同様に、飛び方や生息環境といった行動・生態的特徴に適応的に進化してきたのだろう、というのが少し前までの定説でした（e.g. Savile 1959 Evolution）。例えば、ダイナミックソアリングをするミズナギドリの仲間は細長い翼をもっていますし、羽ばたき飛行を中心にするカケスの仲間は短くて丸い翼をもっており（図1）、いかにも飛行の行動に適応して翼の輪郭形状が進化しているように見えます。

しかし、系統解析の発展により、系統関係の影響を考慮して種間の連続値形質を比較できる系統種間比較法*が発達すると、話は一変します。なんと、翼の輪郭形状は行動・生態的な特徴や体サイズとは関係が弱く、むしろ

系統的な制約を強く受けていることが示唆されたのです（Wang and Clarke 2015 Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.）。ただし、分類群を限定すると翼の輪郭形状は行動・生態的特徴と関係があるとする研究（Phillips et al. 2018 J. Avian Biol.; Baumgart et al. 2021 Integr. Org. Biol.）もあります。

しかし依然として鳥類全体のスケールでは、翼の輪郭形状は行動・生態的な特徴では説明がつかず、行動・生態的な特徴とミスマッチしている可能性があります。

最近の研究群：では何が関係しているのか

では、他にどの飛行形質がそのミスマッチを解消しているのでしょうか。この疑問は（多くの鳥屋さんの直感とは反するためか）鳥の飛行形質の進化研究を活性化させ、これまで翼周りのいくつかの形質について種間比較に基づく研究が行われてきました。大きく分けると①翼の動的な形質と②翼の中でも輪郭には反映されない局所的な形質、の2つに分けることができそうです。

①については、乾燥した標本では計測しづらい関節の可動域を調べた研究（Baliga et al. 2021 Sci. Adv.）があります。同じ冷凍死体から翼の各関節の可動域と翼の輪郭形状を両方計測し、輪郭形状は生態的特徴との関係が弱く系統的な制約が強かった一方で、関節の可動域は生態的特徴と強く関係しており、かつ系統的な制約も弱かったことを示しています。具体的には、滑空を多用する鳥や体サイズの大きな鳥では関節の可動域は狭く、羽ばたきを多用したり体サイズの小さかったりする鳥では可動域が広いという関係がありました。②については、例えば、翼端の割れ具合（スロットの深さ）を規定する初列風切羽の欠刻の形状が、生態的特徴と強く関係していることが示されています（Klaassen van Oorschot et al. 2017 J. Morphol.）。欠刻の深さは体サイズが大きくなるほど、また、生息環境が陸域ほど深くなるという関係がありました。

関節の可動域は翼の動的な変形（wing morphing）を規定し、慣性モーメントに影響することで運動を制御します（Harvey et al. 2022 Nature）。また、翼端スロットは離陸や機動的な飛行の際の空力性能を高め（Klaassen van Oorschot et al. 2016 J. Exp. Biol.）、運動の制御に貢献します。すなわち、①も②も、翼本体の発揮する空力性能とは違う機序で運動制御を実現する形質が生態的特徴に関係していると解釈できます。



図1 飛行するオオミズナギドリ (*Calonectris leucomelas*) とカケス (*Garrulus glandarius*)



図2 着陸時に小翼羽を前方に展開するカムリワシ (*Spilornis cheela*) の幼鳥。立松聖久氏撮影。Adapted from Fig. 1 in Tatani et al. 2023 Biol. J. Linn. Soc.

今回の題材：小翼羽

しかし、局所的な形質による運動制御といっても、まだまだ他にも候補がありそうです。航空機開発の分野においては、小さなパーツの有無が性能に大きな影響を及ぼすことも多いため、鳥の翼も局所的なパーツの形態の変化が大きな空力的効果を及ぼし、飛行の多様化に関わったかもしれません。

そこで、私たちは鳥の第一指に生える小翼羽という羽に注目しました。小翼羽は第一指の随意的な運動によって前後に可動し、主に離着陸時に前方に展開することで、翼前縁に小さな翼状の構造を形成します(図2)。この構造は翼が高迎角の時に高揚力を保つという空力的な効果があることがわかっていますが (Lee et al. 2015 Sci. Rep.; Ito et al. 2019 Bioinspir. Biomim.; Linehan & Mohseni 2020 Sci. Rep.), 種間で形態を比較した研究はこれまでにありませんでした。私たちは、187種 396個体の博物館標本の小翼羽形態を計測

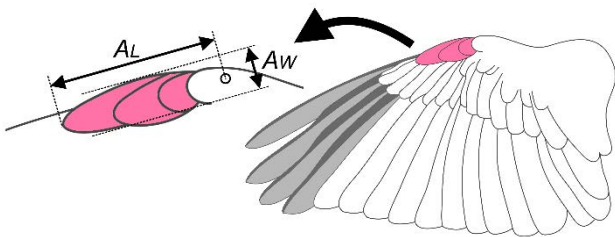


図3 小翼羽の場所と計測項目。Adapted from Fig. 2 in Tatani et al. 2023 Biol. J. Linn. Soc.

することにより、小翼羽の形態の多様性と行動・生態的特徴との関係を調べました。

やったこと：標本計測と系統解析

計測したのは小翼羽の縦の長さ AL と横の長さ AW です(図3)。また、 $AAR = AL / AW$ として小翼羽のアスペクト比も計算しました。図3下のように、仮剥製の翼の羽をかき分けて小翼羽を露出し計測を行いました。計測は国立科学博物館や山階鳥類研究所など5つの機関で行いました。

小翼羽形態の多様性について、2つの解析を行いました。1つ目は系統シグナルの検出、2つ目は行動・生態的特徴との相関です。

1つ目の解析では、計測した種の系統樹情報と形態データをもとに、小翼羽形態の系統シグナル**が強いかわ弱いかを Blomberg's k を算出して解析しました。

2つ目の解析では、小翼羽形態を目的変数とし、それぞれの種の行動・生態的特徴の説明変数が関係するか? を PGLS: Phylogenetic Generalized Least Squares を用いて解析を行いました。用意した説明変数は体重、生息環境 (Open or Closed)、飛行スタイル (CF: Continuously Flapping 羽ばたきのみ、NF: Non-Flapping 滑空のみ、IF: Intermediate Flapping 両方する)、渡り距離の4種類です。説明変数については全て文献から抽出してデータセットを作成しました。

結果：小翼羽は進化的に柔軟だった

結果は、①小翼羽形態への系統シグナルは幅とアスペクト比には弱く、長さには中程度だった、②体重が大きくなると AL や AW など小翼羽そのものの大きさが大きくなるだけでなく、プロポーシオンとして細長くな

表1 小翼羽形態に対する系統シグナルの大きさ。k = 1はブラウン運動に沿った形態の進化を示し、k < 1はそれよりも柔軟、k > 1はそれよりも保守的であることを示す。

	AL	AW	AAR
Blomberg's k	1.041	0.8594	0.3802
P-value	0.001	0.001	0.001

表2 PGLSの結果。小翼羽形態 (AL, AW, AAR) に対し有意に変異を説明していた説明変数を黄色で示し、その傾きの正負を示す。

	AL	AW	AAR
体重	+	+	+
生息環境			
飛行スタイル	NF : +	NF : +	
渡り距離			

る、③滑空を多用する鳥は小翼羽の長さとの幅の両方が大きくなる、の3つでした(図4;表1,2)。

考察：翼の関節の可動域と似た傾向

すなわち、小翼羽形態は特にアスペクト比が進化的に自由度が高く、その体重と飛行スタイルに応じて柔軟に進化していることを示唆しています。体サイズと滑空を使用する程度の違いに関係した変化がみられたのは、翼の関節の可動域を扱った先行研究(Baliga et al. 2019 Sci. Adv.)とも共通しています。Baligaらは、体サイズが大きいか、滑空を多用する鳥ほど関節の可動域が小さいことを示しています。このことは、このような鳥が、翼の運動そのものによる慣性モーメントへの作用による運動制御への依存度が低いことを示唆しています。そのため、高迎角時に高揚力を保つという小翼羽の空気力学的な機能がより効果を発揮しやすいのかもしれませんが。

この研究では、系統的な制約が強く、生態とミスマッチしている翼の輪郭形状の補償として様々な形質の解析が試みられてきた中で、小翼羽もその一つである可能性を示しました。しかし、系統関係とは独立な行動・生態的な特徴との関係がみられた一方で、形態の変化と機能の変化との因果関係はよくわかっていません。小翼羽の存在は航空機のスラット翼にも似ているためか、小翼羽がある時の機能や作用機序についての研究が数多く行われてきました。しかし、その形態の変化による直接的な機能の変化については実証実験が不足しています。今後、空気力学的な研究が進むことにより、鳥の飛行の多様化を可能にした形質についての理解がより深まるでしょう。

(今回の解析にはデータセットにいくつかの技術的な問題があり、それを解決した複数のデータセットで同じ解析をしているため、論文に掲載している結果の表はもう少し複雑です。ただ、複数のデータセットで全て同じ傾向の結果が得られたため、ここではそれらをまとめて1つの表にしています)

おわりに：鳥の飛行形質の進化研究

ここからちょっと論文の内容から外れます。鳥の飛行とそれに関する形質の進化は、通常の形質の進化を考えるよりもずっと制約が大きく、かつ大局的には最適化されていないのではないかと最近考えています。例えば、翼の輪郭形状が変わるためには何枚もある風切羽の長さが一斉に変わる必要があります、発生的な制約を感じます。また、中間的な翼の形態は急激に性能が落ち

るような、空気力学的な問題に起因する「適応度の谷」があるかもしれませんし、筋肉のもつ生理学的な性能にも制約があるかもしれません。現在運行されている大小の航空機(小型無人機を含みます)の中に鳥そっくりなものがほとんど見当たらないことを考えると、鳥の飛行は様々な側面を最適化しているわけではなく、「たくさんの制約の中でどうにか飛んでいる妥協の産物」なのだと思います。そう考えると飛行に関する形質の進化の研究はますます面白く見えてくるのではないのでしょうか。鳥の飛行形質の進化研究、皆さんもやってみませんか。

【*：系統種間比較法について】

種が分化すると、それぞれの種は分岐以降別々の歴史を辿ります。昔に分岐した種同士とごく最近分岐した種同士では共有する歴史の長さが違うため、原生の種のもつ形質を種間で比較したい場合には、その種同士が独立な関係ではないことを考慮に入れる必要があります。これが系統種間比較法 PCMs: Phylogenetic Comparative Methods の基本的な発想です。PCMでは枝長の情報がある系統樹データに基づいて種間の分散共分散行列を作成し、それをもって形質のデータを補正します。これによってはじめて、各種のもつ生態的特徴と形質の関係を探索することができます。

【**：系統シグナルについて】

「系統的に近い種ほど形質が似ている」という傾向のことを系統シグナルと呼びます。この研究では、進化的な力が何もないければ小翼羽形態が系統樹に沿ってブラウン運動的に変化していくことを仮定($k = 1$)し、それよりも近縁種同士の形態が多様化している($k < 1$)のか、それよりさらに似ている($k > 1$)のかをPermutation testにより検定しています。この k の値をここでは系統シグナルの強さと呼んでいます。 $k < 1$ では分断選択が、 $k > 1$ では安定化選択がはたらいていると解釈できる場合があります。

【論文情報】

Masanori Tatani, Takeshi Yamasaki, Hiroto Tanaka, Toshiyuki Nakata and Satoshi Chiba. What makes the diverse flight of birds possible? Phylogenetic comparative analysis of avian alula morphology. *Biological Journal of the Linnean Society* 2023; blad085.

<https://doi.org/10.1093/biolinnean/blad085>

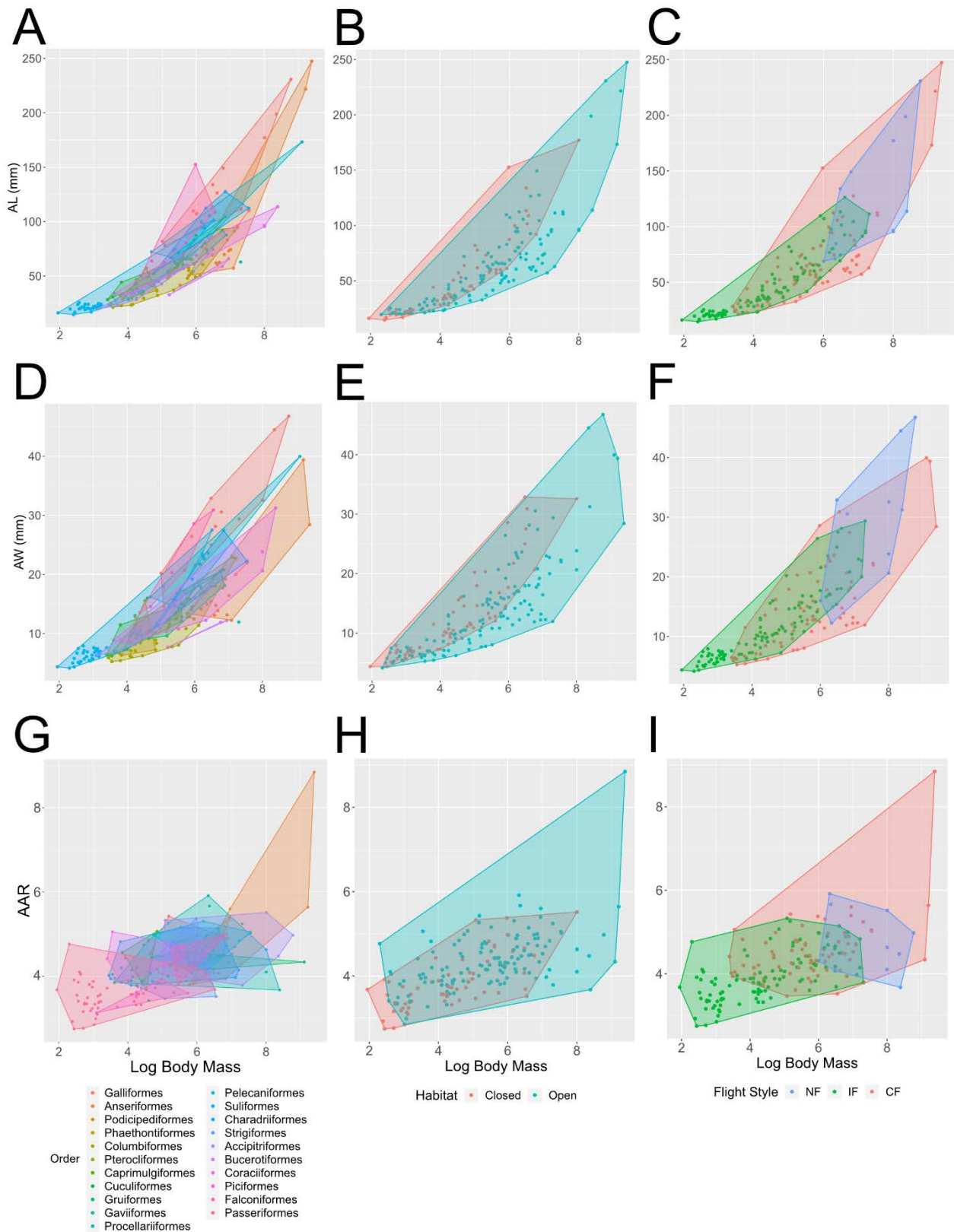


図4 今回得られた全種のデータ。体重とAARの正の相関はこの図からも見て取れる。Adapted from Fig. 4 in Tatani et al. 2023 Biol. J. Linn. Soc.

バイオリングカレンダー2024

フォトコンテスト結果発表

塩見こずえ（東北大学 学際科学フロンティア研究所）

カレンダー係 2 年目の塩見です。毎年恒例のバイオリングカレンダー制作のため、会員の皆様から厳選写真を提供していただき、フォトコンテストを開きました。写真を応募してくださった皆様、そして投票をしてくださった皆様、ご協力ありがとうございました。

今年は計 67 枚もの作品をご応募いただきました。たくさん素敵な写真を眺められて嬉しくもあり、選ぶのがとても難しくもありました。会員の皆様からの投票結果（60 名×6 票）も踏まえ、最終的には下記の 3 枠で選んだ 16 枚を使わせていただきました。

- [1] 得票数上位 6 枚
 - [2] 得票数上位 12 枚のうち、[1]に写真が含まれていない応募者の 4 枚
 - [3] 制作チームで選んだ写真 6 枚
- 計 16 枚

ここでは、得票数上位 12 枚の写真をご紹介します！

1 位 ロガー受信機に乗るウミネコ（24 票）
鈴木世莉奈さん（名古屋大学環境学研究所 依田研究室）



2 位 Argos 送信機を付けたブッポウソウ（22 票）
飯田知彦さん（日本希少鳥類研究所）



3 位 ワタリアホウドリの求愛ディスプレイ（16 票）
高橋晃周さん（国立極地研究所）



4 位 浅き川も深く渡れ（15 票）
渡辺伸一さん（リトルレオナルド）



5 位 ガラパゴスの日常（14 票）
渡辺佑基さん（総合研究大学院大学統合進化科学研究センター）



6 位 個性あふれる雛たち（13 票）
依田憲さん（名古屋大学大学院環境学研究所）



7位 群れて泳ぐ太平洋ニシン (12票)

関恭佑さん (北海道大学大学院 環境科学院)



7位 一度は見てみたい世界の絶景 (南極編) (12票)

渡辺佑基さん (総合研究大学院大学統合進化科学研究センター)



7位 御崎馬 (12票)

原田和輝さん (東京大学大気海洋研究所)



10位 どこを見ているのか (11票)

依田憲さん (名古屋大学大学院環境学研究科)



10位 キタゾウアザラシの決闘 (11票)

安達大輝さん (University of California Santa Cruz)



10位 大海原で遭遇したクロマグロの大群 (11票)

米山和良さん (北海道大学大学院水産科学研究院)



【カレンダーへのご意見/ご提案/ご感想】

応募フォームと投票フォームに設けていた自由コメント欄にいただいたご意見と、現時点での回答をこちらでお伝えします。すべてのリクエストに応えきれてはいないのですが、とても参考になります。ありがとうございます。

- 去年のように、巻末に研究者目線の生き物解説がついていると嬉しい
- 後ろにまとめてある説明文を月ごとのページにある方が見やすい

→ 2024年版では解説文を月ごとのページに、動物情報は巻末にまとめてみました。

- 写真が選ばれた人の簡単なプロフィール (所属や研究テーマなど) を載せることができれば、それぞれのテーマで研究者同士が繋がりがやすくなるのではないのでしょうか

→ 去年は省略していた「撮影者氏名/所属」の掲載を復活させました。「研究テーマ」など追加の掲載項目についても来年また検討したいと思います。

- 卓上版があるとうれしい

→ 卓上版とか日めくり版とか、これまでとは違うパターンのカレンダーもよさそうです。予算のこともあり、

すぐには難しいのですが、将来の候補企画の一つに入れておきたいと思います。

- 動物園などで撮ったまったくバイオリギング研究予定のない個体に投票してしまうと少し趣旨がずれてしまうのが気になる。投票時点で撮影地（動物園・実験施設・野生など）とバイオリギング研究の可能性（ほぼない・可能性はある・計画済み・研究済みなど）まで書いてあれば参考にできて嬉しい

→ 幹事会でも相談しまして、塩見の担当期間中（来年度まで）は以下の方針とさせていただくことに決めました：

気軽に写真を応募してもらうため、応募フォームの入力労力をできるだけ小さくしたいと考えています。今は複数枚をいっぺんに応募できる形式にしている、実際にまとめて応募してくださった方も多いので、入力項目が増えるとちょっと大変かもしれません。それからこれは私の個人的な都合なのですが、情報が増えると投票フォームの準備が…大変そう…だなあと…すみません。

なので、「既存のバイオリギング研究例がある動物の写真」には○印をつけるとか、来年までに何か折衷案を考えたいと思います。

- バイオリギングのカレンダーなので、基本動物に機械が付いた画像でなければいけないように思う

→ この件につきましても幹事会で相談しまして、塩見の担当期間中（来年度まで）は以下の方針とさせていただくことに決めました：

ロガー付き写真に限定すると集まる枚数や対象動物が大幅に減って、カレンダー作り自体が難しくなると思っています。また、ロガーや発信機を体内に装着している場合など、研究対象個体でも外からロガーが見えないこともあるかと思えます。そのため、来年も限定はしない方針です。ただ、制作チームで写真を選ぶ際の基準の一つに「バイオリギングらしさ」も含めようと思えます（今年は表紙裏面をロガー付き動物の写真で揃えてみました）。

- いい写真が多すぎて、6枚選ぶのが難しかった
- 素晴らしい写真が多くて悩みました
- 迷いました…
- 格好良くてお洒落な写真(それこそ日替わりのデスクトップ画像とかにありそうなぐらいいい写真)が多く、投票に迷いました

→ わかります…

- 素敵な写真ばかりなので、バイオリギング研究会のHPにフォトギャラリーみたいにして残してもいいかも

→ 応募者の皆さんに相談して検討したいと思います。

- いつも楽しみにしています
- 完成を楽しみにしています
- 投票サイト、とても見やすくてよかったです
- 投票サイトが見やすかった/選びやすかったです
- 写真選び中に所々はいるコメントが楽しかったです

→ この他にも応援やお礼のメッセージを書いてくださった方がたくさんいて心に染みわたりました（ほんとです）。ありがとうございます。

ちなみに「写真選び中に所々はいるコメント」は、長年の定説となっている「応募順が後ろになるほど票が入りにくい（最後まで見る前に投票を終えてしまう）っぽい」を緩和するために試しました。その効果というわけではないと思いますが、今年は応募順と得票数に相関がなかった気がします。

事務局からお知らせ

会費納入のお願い



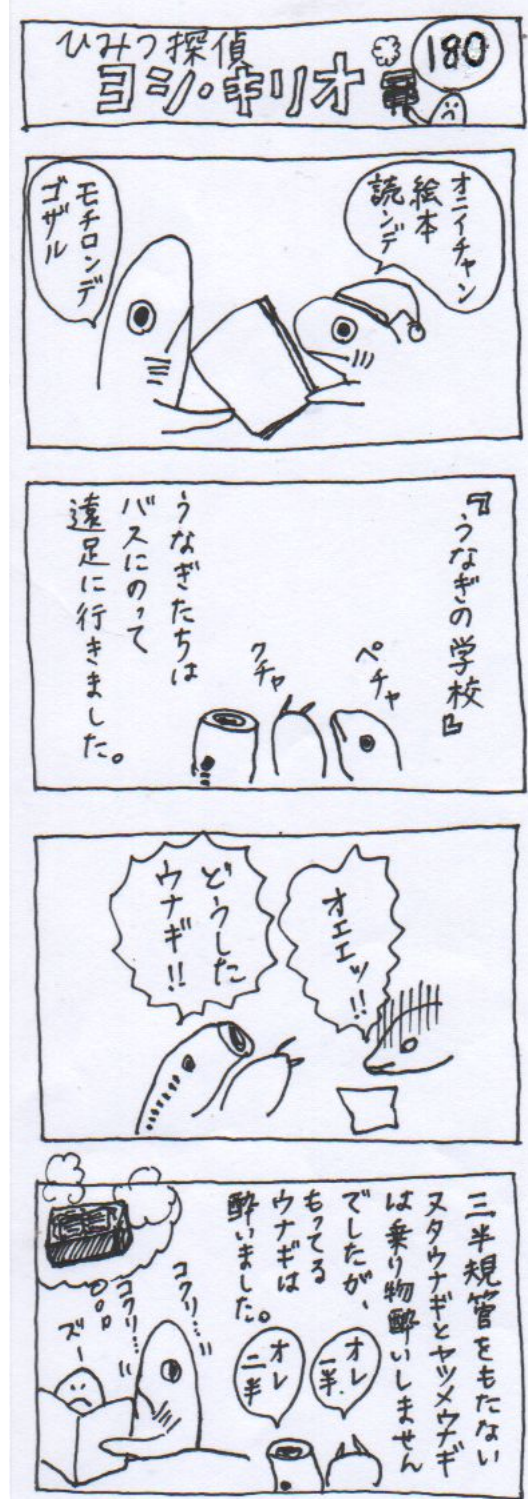
■会費の納入にご協力をお願いいたします。
正会員 5000円、
学生会員（ポストクも含まます）1000円 です。
2年間会費未納ですと自動的に退会になりますのでご
注意ください。

■住所・所属の変更はお早めに事務局まで
〒606-8502 京都市左京区北白川追分町
京都大学フィールド科学教育研究センター
TEL&FAX 075-753-6227
BioLoggingScience@gmail.com

編集後記



■上坂さんとゲストの田谷さんに論文紹介をお願いしました。どちらも、おもしろい着眼点とアイデアを丁寧に論文として仕上げる姿勢がすごいなと感じた研究です（私もそういう論文を目指したい...）。快く執筆を引き受けてくださり、どうもありがとうございました！田谷さんが書かれていたような、適応だけではない「形と行動の関係」が近頃気になっていて、なんとかバイオリギングと絡められないものか...と考え中です。【KS】 ■ある大学のメディアサイエンス系の学生さん達に、バイオリギングについて講義をする機会を得ました。分野違いなだけにバイオリギングという言葉を知っている学生はわずかでしたが、皆さん目を輝かせて聴いてくれました。特にビデオロガーの映像には食いつきがよく、色々な視点で解析方法を提案してくれました。私も大変勉強なったのですが、その視点や発想方法にZ世代とのギャップをしみじみと感じました。【JO】 ■7月以来家族の発熱がのべ 20 回くらい・・・全然仕事が出来ていません。【SSK】 ■上坂さんの論文に使われた元データはBiPにアップロードされ、オープン化されています。アップロードされたデータを使って風や波を推定する事もBiPの上で可能です。最近、論文公表の際にデータオープン化を求める雑誌が増えました。BiPは無料でそのニーズに応えることができますので、是非会員の皆様利用して下さい。【KS】 ■2024年3月の国際シンポ BLS8には300件以上の発表要旨登録がありました。会場のキャパシーの関係で、聴講のみの方の現地参加登録手順については現在検討中です。メーリングリストでの続報をお待ち下さい。【A.T.@LOC】



【S.K】