



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. 234

発行日 2026年2月28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 名古屋大学大学院環境学研究科・生態学講座 依田憲

〒464-8601 名古屋市千種区不老町

E-mail: BioLoggingScience@gmail.com



もくじ

新しい発見

Animal pass filter としての Event-based vision sensor の使用例

手嶋 優風, 林 靖人, 川口 慎介 (国立研究開発法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC)) 2

研究紹介

動物にもウイルスにも国境はない

水谷 友一 (同志社大学/名古屋大学) 6

野生コウモリの餌場でのコミュニケーション

大西 優衣 (同志社大学) 8

ペア飛行するユビナガコウモリの音響的視線制御と飛行経路に関する分析

矢尾 遼太 (同志社大学) 10

障害物回避行動中のコウモリの超音波放射方向と頭部方向制御の関係

青木 耀大 (同志社大学) 13

お知らせ

BiP を使ったバイオロギング解析に挑戦~その1 1・estimate_flight_height.py : 気圧データから飛行高度推定
渡辺伸一 (リトルレオナルド社/麻布大学獣医学部) 16

BiP News~BiP Up 2024 (研究成果)・2025 (研究計画) 発表会の案内~

渡辺伸一 (リトルレオナルド社/麻布大学獣医学部)・佐藤克文 (東京大学大気海洋研究所) 20

「闇に飛び立ち、迫り来るキクガシラコウモリ」 撮影者: 吉田創志 撮影場所: 同志社大学

Animal pass filter としての Event-based vision sensor の使用例

手嶋 優風, 林 靖人, 川口 慎介 (国立研究開発法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC))

背景

野生における生物行動は、その生物の内部状態や運動能力、ナビゲーション能力に加え、環境や他個体など多数の相互作用する要因が複雑に絡み合うことで生じる[1]。そのため、最も正確な知見は、対象個体を天然環境下において行動の制約なく計測・観察することによって得られる[2]。この観点から、野外での計測・観察を可能とする機器の開発や手法の発展は、新たな生物行動の発見に直結してきた。本文脈で、我々は移動物体のみを検出する Event-based vision sensor (EVS) の特性を利用することで、環境ノイズを除去し「生物のみを通過させるカメラ (animal-pass-filter camera)」を構築するべく研究開発を進めている (図 1)。本稿では最近開発した計測・解析手法を報告する。

計測機器の発展に基づく研究手法の代表例がバイオロギングである。バイオロギング手法の確立により、これまで人類が直接計測することが困難であった上空や海中における生物行動の定量的な記録が可能となり、生物行動の計測可能領域は地球規模で大きく拡張された。一方、記録データの説得性および生物学的理解の基盤として重要な視覚的観察は、野外でのスケッチに端を発し、主としてカメラ技術の発展によって支えられてきた。近年では、人類の知覚限界を超える現象、例えば蚊の羽ばたきのような超高速運動[3]の観察も可能となっている。

しかし、依然として観察が困難な環境が存在する。それは、恒常的に地球表面の約半分が含まれる暗所環境である。暗所環境での弱光量条件下において生物の急速な運動を高精度に記録することは、未だ技術的な困難が存在する。大量の人工照明は光害を引き起こし、動物の自然な行動を攪乱することが知られている[4]。このような影響を最小限に抑えるためには、可視光への曝露を制限する、あるいは光干渉の少ない赤外線スペクトルのみ依存した計測が求められる。赤外線カメラやサーマルカメラは受動的な検出を可能とし、フラッシュ撮影は瞬間的な撮影を実現するものの、いずれの手法においても、夜行性動物の高速かつ詳細な運動を連続的に捉えることは現状では困難である。

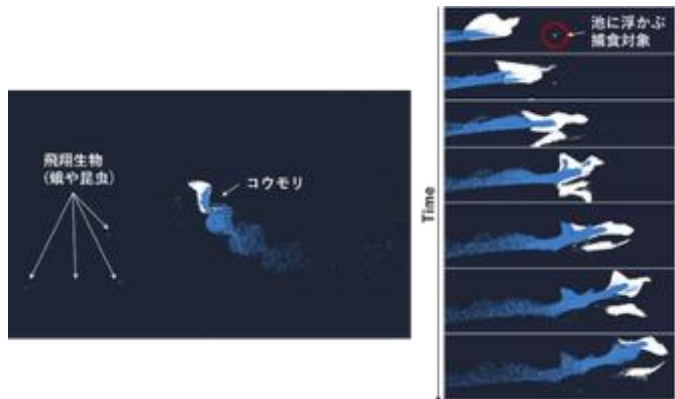


図 1. EVS で撮影しフレーム化したコウモリの飛行例

EVS は、こうした暗所での高速行動撮影の困難に対して、有望な解決策の一つとなり得る。EVS はニューロモーフィックデバイス的一种であり、薄暗い環境下においても高い時間分解能と信号対雑音比を維持して動作する[5]。EVS の各ピクセルは独立して機能し、輝度変化を個別の「イベント」の連続ストリームとして非同期に出力する[6,7]。この出力データをイベントデータと呼ぶ。各イベントは、空間座標 (x, y)、輝度変化の極性、およびタイムスタンプの 4 つのパラメータから構成される。センサ内部では、フォトダイオードによって光子が電流に変換され、その電流が各ピクセル内で電圧に変換される。この過程において対数圧縮が施されることで、輝度のわずかな変化に対しても高い感度が得られる[8,9]。これらの動作原理により、可視光への曝露を最小限に抑えた条件や非可視波長を用いる状況下においても、暗闇での動物行動の可視化が可能となる。さらに、EVS は静止領域や輝度変化の生じない時間区間を記録しないため、メモリ使用効率が高く、消費電力も低い。この特性は、高速運動を対象とした長時間モニタリングにおいて特に有利である。

EVS は自動運転やファクトリーオートメーションの分野で普及しつつあるが、現状では生物学研究にはほとんど使われていない。JAMSTEC では、EVS の性能を活用する生物学研究に着手しており、海中を遊泳する微小動物の行動観察法をすでに確立している[10]。

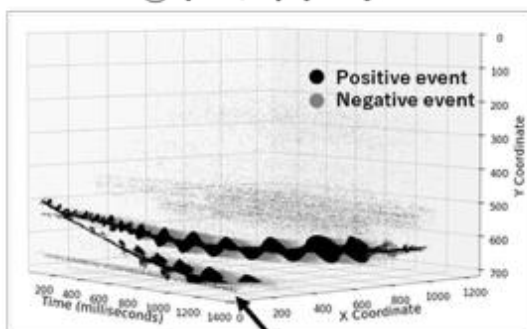
本稿では、イベントデータを用いて飛行生物のト

ラッキングおよび羽ばたき周波数を自動算出するソフトウェア evsBat を開発した研究内容を紹介する。EVS による記録および evsBat の性能を検証するため、高速飛行および夜行性という特性を有するコウモリをモデル生物として選定し、シミュレーション (*in silico*)、観測室環境 (*in vitro*)、および野外環境 (*in situ*) における包括的な評価を実施した。性能評価は、飛行軌跡の追跡精度および羽ばたき周波数推定精度に基づいて行った。

evsBat 概要

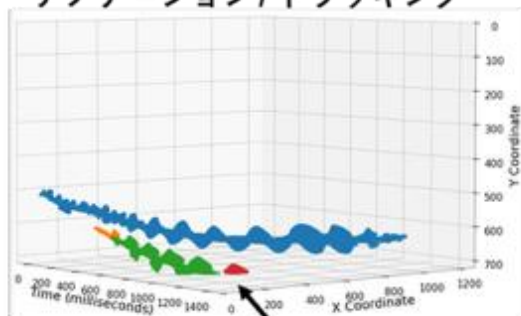
詳細は論文に譲るが、本ソフトウェアは EVS で計測されたイベントデータを、イベント間の時空間距離を用いてクラスタリングすることでトラッキングを行う。そしてトラッキングされたイベントデータのデータ増減の周波数を算出することで羽ばたき周波数として出力する (図2)。

① イベントデータ



池からの反射

② イベントデータの アノテーション/トラッキング



池からの反射

③ 羽ばたき周波数を算出するための 重心上下のイベントデータの分割

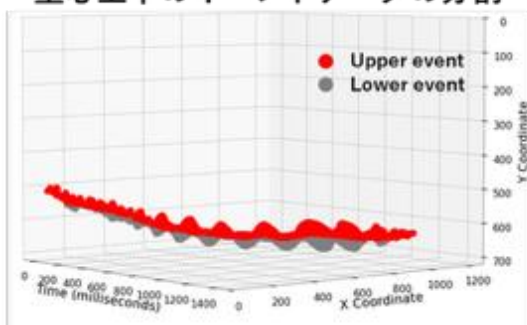


図2. evsBat の処理フロー図

シミュレーション実験 (*in silico*)

まず、開発した evsBat がターゲットを正しくトラッキングし羽ばたき周波数を算出できるかを、人工的に作成した周期的に大きさが変動するターゲットで検証を行った。ターゲットは、左から右に一定の速度で移動し、大きさが各周波数 5.0, 10, 15, 20 Hz で変動する。この条件で動画をつくり、IEBCS [11]によってイベントデータに変換した。

evsBat は全てのターゲットに対してトラッキングが成功し、算出した羽ばたき周波数は各設定周波数とよく一致した (5.1, 10, 15, 20 Hz)。この結果により、ターゲットのみが存在し、一定の移動および周期的なターゲットの変動であれば evsBat は機能することが確認された。

観測室実験 (*in vitro*)

次に、コウモリの飛行をターゲットとし、側面からの安定な撮影が可能な室内観測での有効性の検証を行った。対象種は、キクガシラコウモリ、ユビナガコウモリ、モモジロコウモリである。コウモリの飛行は IMX636 (EVK4-HD, PROPHESEE, Paris, France) を用いて記録した。同カメラには 1/2.5 インチ f2.0 C マウントレンズ (Soyo Security Co., Ltd., Hong Kong) を装着した。同時に精度検証の比較対象としてフレームカメラ (OptiTrack, NaturalPoint Inc., Oregon, USA; fps = 100 Hz) を用いた。両カメラおよび、赤外ライト (IR illuminator S20D-90-A-IR, Scene Electronics (HK), Guangdong, China; 850 nm) は高さ 0.86m に設置した。観測室はネットで区画分けされ、コウモリは長さ 6.0m、幅 4.5m、高さ 2.5m の空間内で飛行した (図3)。

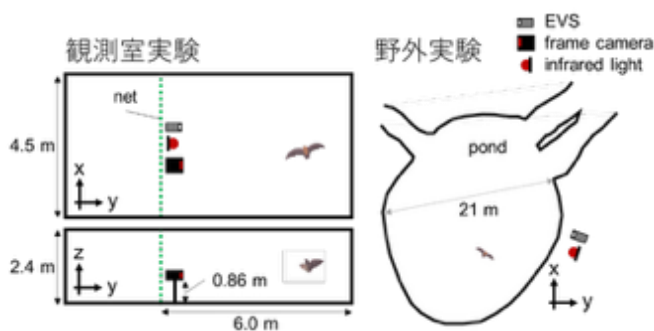


図3. 観測室と野外の実験系

evsBat と EVS の組み合わせは、全ての試行において、トラッキングが成功し、羽ばたき周波数はフレームカメラで記録した動画からマニュアルで算出した羽ばたき周波数と ± 1.0 Hz の精度で算出可能であった (図4 (a))。また、各コウモリの体重と羽ばたき周波数の関係は、フレームカメラを使用した先行研究の結果と良い一致を示した (図4 (b))。

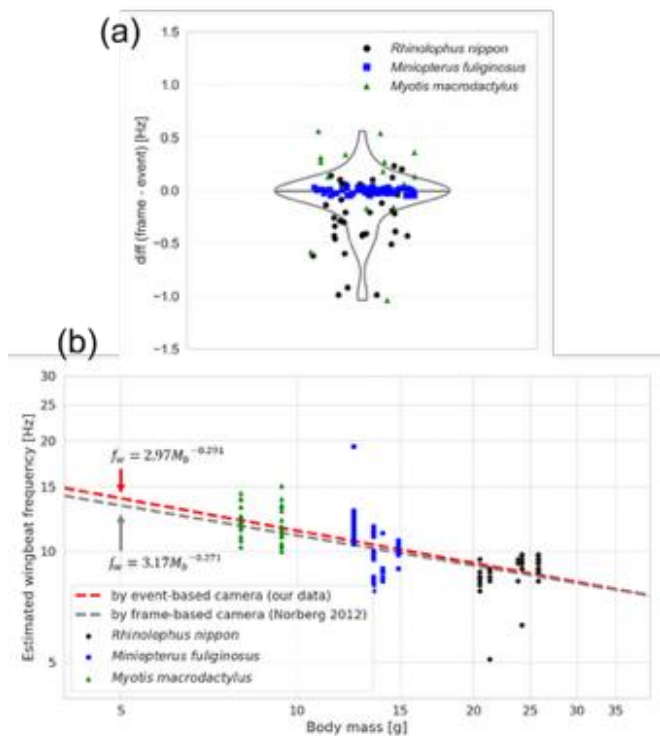


図 4. (a)EVS とフレームカメラそれぞれでの算出羽ばたき周波数の差(b)evsBat で算出した羽ばたき周波数と体重の関係

野外実験 (in situ)

最後に、野外（北海道大学苫小牧研究林）において池上を飛行するモモジロコウモリを対象とした計測を行った。使用した EVS は観測室実験と同様であり、広角レンズ（FL-CC0814-5M, RICOH, Tokyo, Japan）を装着し赤外ライト（LIR-CS88, IR LAB, Shenzhen, China; 850 nm）とともに設置した（図 3）。計測中に EVS の焦点面付近をコウモリが通過した計 24 の飛行シーケンスを、evsBat を用いて解析した。この時 EVS が記録したデータ量は 16 分 8 秒で 498MB であった。このデータ容量は、同様の解像度において圧縮無しグレースケールの 30FPS の動画の容量が約 22.6GB となるのに対して大幅なデータ量削減であった。

evsBat での解析結果は、22/24 の飛行シーケンスにおいて観測室実験と同程度の羽ばたき周波数の算出に成功した（図 5）。2 つのシーケンスでは池に現れる影を含め誤ったトラッキング結果となった。

今後の展望

本研究では、EVS と独自の解析パイプライン evsBat を組み合わせることで、低照度・近赤外環境下においても野生コウモリの飛行を自動追跡し、羽ばたき周波数を算出可能な計測システムを実現した。EVS は、高時間分解能・低照度耐性という特性を活かしながら、記録データ量を抑えた実用的な野外観測を可能にする。使用機材は市販部品のみで構成されており、本手法はコウモリに限らず、夜行性

生物や深海生物など、光条件が制限された環境における生物観察全般へ応用可能である。我々はこの移動物体のみを検出する EVS の特性を利用したシステムを、環境ノイズを除去し「生物のみを通過させるカメラ（animal-pass-filter camera）」と位置づけている。

将来的には、複数台の EVS を用いた三次元再構成や、大規模自動アノテーションを基盤とした機械学習による行動分類への展開が期待される。さらに、本研究では、EVS を固定したオイラー的観察に基づく計測を行ったが、小型・軽量で記録データ量を抑えられるという特性は、バイオロギング手法に代表されるラグランジュ的観察にも適しており、今後の導入が期待される。

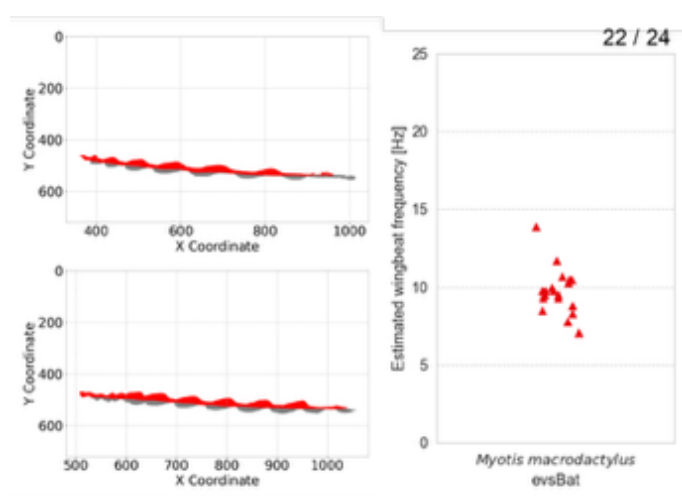


図 5. 野外で計測したコウモリの飛行のイベントデータと evsBat で算出した羽ばたき周波数

文献情報

- [1] Nathan, R., Getz, W. M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D., & Smouse, P. E., 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(49), 19052–19059. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0800375105>
- [2] Kays, R., Crofoot, M. C., Jetz, W., & Wikelski, M., 2015. Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. *Science*, 348(6240), aaa2478. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaa2478>
- [3] Bomphrey, R. J., Nakata, T., Phillips, N., & Walker, S. M., 2017. Smart wing rotation and trailing-edge vortices enable high frequency mosquito flight. *Nature*, 544(7648), 92–95. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature21727>
- [4] de Sánchez Miguel, A., Bennie, J., Rosenfeld, E.,

Dzurjak, S., & Gaston, K. J., 2022. Environmental risks from artificial nighttime lighting widespread and increasing across Europe. *Science Advances*, 8(37), eabl6891. DOI:

<https://doi.org/10.1126/sciadv.abl6891>

[5] Gallego, G., Delbruck, T., Orchard, G., Bartolozzi, C., Taba, B., Censi, A., Leutenegger, S., Davison, A. J., Conratt, J., Daniilidis, K., & Scaramuzza, D., 2022. Event-based vision: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44(1), 154–180. DOI:

<https://doi.org/10.1109/TPAMI.2020.3008413>

[6] Kleinfelder, S., Lim, S., Liu, X., & El Gamal, A., 2001. A 10000 frames/s CMOS digital pixel sensor. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 36(12), 2049–2059. DOI: <https://doi.org/10.1109/4.972156>

[7] Lichtsteiner, P., Posch, C., & Delbruck, T., 2008. A 128×128 120 dB 15 μs latency asynchronous temporal contrast vision sensor. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 43(2), 566–576. DOI: <https://doi.org/10.1109/jssc.2007.914337>

[8] Brandli, C., Berner, R., Yang, M., Liu, S.-C., & Delbruck, T., 2014. A 240 × 180 130 dB 3 μs latency global shutter spatiotemporal vision sensor. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 49(10), 2333–2341. DOI: <https://doi.org/10.1109/jssc.2014.2342715>

[9] Posch, C., Serrano-Gotarredona, T., Linares-Barranco, B., & Delbruck, T., 2014. Retinomorph event-based vision sensors: Bioinspired cameras with spiking output. *Proceedings of the IEEE*, 102(10), 1470–1484. DOI:

<https://doi.org/10.1109/jproc.2014.2346153>

[10] Takatsuka, S., Miyamoto, N., Sato, H., Morino, Y., Kurita, Y., Yabuki, A., Chen, C., & Kawagucci, S., 2024. Millisecond-scale behaviours of plankton quantified in vitro and in situ using the event-based vision sensor. *Ecology and Evolution*, 14(8), e70150. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.70150>

[11] Joubert, D., Marcireau, A., Ralph, N., Jolley, A., van Schaik, A., & Cohen, G., 2021. Event camera simulator improvements via characterized parameters. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 702765. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.702765>

【発表論文】

Teshima, Y., Hayashi, Y., Aoki, Y., Fujioka, E., Hiryu, S., & Kawagucci, S., 2025. evsBat: An automated toolkit for tracking and quantifying rapid movement of nocturnal animals using event cameras. *Methods in Ecology and Evolution*, 00, 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210x.70224>

動物にもウイルスにも国境はない

水谷 友一（同志社大学 生命医科学部 脳神経行動工学研究室）

みなさま、こんにちは。同志社大学でポスドク研究員をしている水谷友一です。今回、私が紹介するのはアフリカのオオコウモリの研究になります（図1）。この研究は主導している北海道大学の梶原将大先生と同志社大学の藤岡慧明先生、飛龍志津子先生と連携して、現在、投稿準備のよき段階にある研究紹介を大変僭越ながら私から紹介させていただきます。複数の研究者との共同プロジェクトの中で動物の行動解析を任せていただけたのですが、私自身が野外調査をしないデータを扱うのは初めての経験でした。また私自身はウイルス学を専門とする立場ではありませんが、本研究を通じて強く感じたのは、ウイルスの広がりを理解するためには、ウイルスそのものの性質だけでなく、それを宿す動物がどのように行動し、どのような空間を行き来しているのかという視点が欠かせないという点です。宿主動物の移動や行動、生態的な背景とあわせて考えることによって、なぜウイルスが国境を越えて存在し続けているのか、その一端が見えてくるように思われます。本研究は、動物行動学の立場から、感染症リスクを理解するための視野を少し広げる試みの一例として位置づけられるものです。

マールブルグウイルス（Marburg virus, MARV）は、エジブシャンルーセットオオコウモリ（Egyptian rousette bat, ERB）を自然宿主とする人獣共通感染症ウイルスです。これまでサブサハラ・アフリカ各地で散発的なアウトブレイクが報告されており、致死率の高いウイルスとして知られています。これまでに行われてきた分子系統解析からは、地理的に大きく離れた地域間であっても、互いに近縁な MARV 系統が存在することが繰り返し示されてきました。しかし、このような「国境を越えて共有されるウイルスの存在」が、実際にどのような生態学的プロセスによって支えられているのかについては、十分に検証されてきたとは言えません。ウイルスの配列情報は着実に蓄積されてきた（これもかなりスカスカで、実際の系統関係の推定は難しい、という状況ではあります。K先生談）一方で、その背後にある宿主動物の行動や移動の実態は、長らくブラックボックスのままでした。

本研究では、アフリカに生息する ERB の集団を対象として、ウイルス学、集団遺伝学、バイオロギ

ング、血清疫学といった複数のアプローチを統合し、できるだけ同じ枠組みの中で捉えることを試みました。ウイルス学的な結果の詳細については、ここでは伏せさせていただきますが、ウイルスの検出結果や遺伝的な特徴を整理していく中で、特定の地域に限定されない広がりや、多様性が存在している可能性が示唆されました。一方で、それらが単一の起源に由来するものではなく、時間的・空間的に複数の背景をもつことも考えられました。



図 1. 現地での調査風景を紹介ビデオ（梶原先生提供）より抜粋。ザンビア大学獣医学部の共同研究者の方と事前ミーティングを行う梶原先生と藤岡先生、防護服を来て洞窟へ侵入する様子、捕獲したコウモリへのデバイス装着やサンプリングも防衛しての作業！

このような複数系統の共存や維持はどのようにして成立しているのか、宿主である ERB 集団そのもののつながりにも目を向けました。集団遺伝学的解析を行ったところ、ザンビアと隣国ジンバブエの個体群の間には、明瞭な遺伝的分化は認められませんでした。これは ERB が国境を越えて遺伝子流動をもつ、広域的な集団として機能している可能性を示しています。ただし、これらの結果は、あくまで「そのような移動や交流が起こりうる」という状況を示すものであり、実際の移動を直接示すものではありません。

そこで本研究のもう一つの中核となったのが、GPS バイオロギングによる直接的な移動記録です。短期間に高頻度で取得された GPS データと、長期間にわたる位置情報を統合して解析することで、ERB がザンビアとジンバブエをまたいで移動・滞在

していることが、初めて実測データとして確認されました（図 2, 図 3）。個体は季節に応じて行動圏を変化させながら、数十キロメートル、場合によっては最大で約 80 キロメートルに及ぶ距離を反復的に移動していました。ウイルスが国境を越えて存在しているという事実の背後で、宿主であるコウモリ自身もまた国境を越えて行動していることが、行動データとして明確に示されたのです。

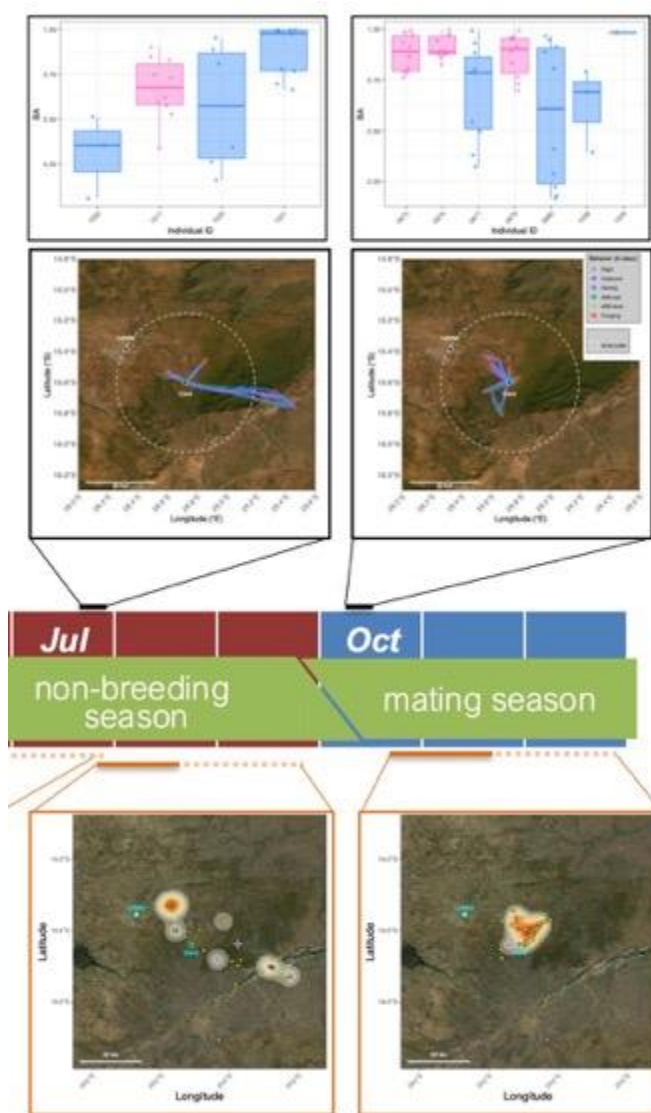


図 2. コウモリの移動に関わる解析結果の一部。1 段目) Bhattacharyya's affinity 法による個体ごとの採餌関連行動（低移動行動）の忠実性。2 段目) 行動状態分類したコウモリの移動軌跡。3 段目) 暦と大凡のコウモリの生活史イベント。4 段目) 短期で詳細な移動データと荒いが長期データからの分布推定。

本研究の特徴は、ウイルスの広域的な維持や拡散という現象について、単一の直接的な証拠を示すのではなく、複数の異なる観点から得られた結果を重ね合わせることで、その全体像に迫った点にあります。野外において、コウモリがウイルスを実際にどのように媒介・流通させているのかを直接観察し、証明することは、現実的にはほぼ不可能です。そのため本研究では、ウイルスの分子系統に関する情報、コウモリの移動や行動を記録したデータ、そして集団の遺伝的なつながりという三つの独立した証拠を組み合わせて検討しました。その結果、コウモリが国境を越えてウイルスを運び、広い地域で共有される状況を生み出している可能性は、これまで以上に説得力をもって示されたと考えられます。従来のウイルス学研究では、主としてウイルスの配列情報を積み重ねることで拡散過程を推測してきました。本研究の意義は、そこに宿主であるコウモリ自身の移動行動と集団構造という実体的なデータを加えることで、ウイルスの広がりを「起こりうる仮説」から「現実の生態学的プロセス」として捉え直した点にあります。本研究は、ウイルス学的な結論を提示するものではありませんが、宿主動物の行動や移動という視点を加えることで、ウイルスの広域的な存在様式を考えるための補助的な手がかりを提供できたのではないかと考えています。

投稿にむけて鋭意作成中！

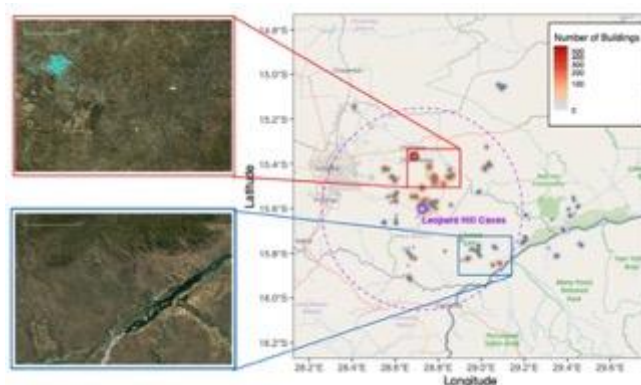


図 3. コウモリの移動先滞在場所の近傍にある建物との関係。右図) コウモリの低移動であったポイント（灰色）とその周辺 1000 m 以内の建物数をバッファ状に色分けし表している。紫色の破線円はねぐらである洞窟から 50 km を表している。左図) 衛星写真上に描写した建造物を青色で表している。上段はコウモリが訪れた建物が多い地域の一例と下段は建造物が少ない地域の一例。衛星写真は Esri World Imagery (© Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the G S User Community)から取得した。

野生コウモリの餌場でのコミュニケーション

大西 優衣 (同志社大学大学院 生命医科学研究科 博士前期課程 2年)

はじめに

夜の池の上では、コウモリが飛びながら昆虫を捕まえています。私たちの耳には聞こえませんが、コウモリは超音波を使って周囲の状況を把握し、同時に他の個体とも音でやり取りを行っています。暗闇で活動するコウモリにとって、音声は環境を知るためだけでなく、他個体との関係を調整するために重要な情報源です[1]。多くの動物が、餌の情報を伝えたり、相手を威嚇したり、仲間との関係を築いたりするために音声を使っています[2]。コウモリも例外ではありません。特に採餌中は、生きることに直結する重要な行動中であり、「どのように音を使って行動しているのか」を知ることは、コウモリの生存戦略を理解するうえで欠かせません。本稿では、北海道に生息するモモジロコウモリ(図 1)に注目し、採餌場面で使われる社会的な音声、どのような意味を持っているのかを調べました。

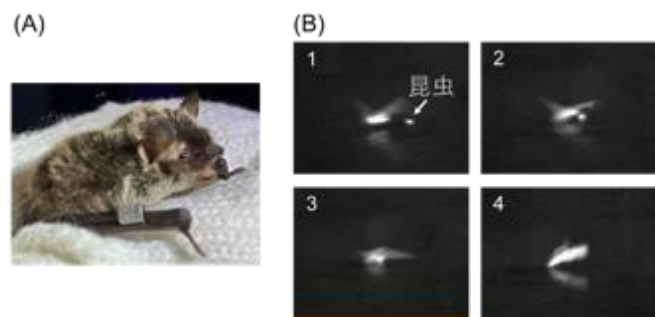


図 1. (A)モモジロコウモリの写真と(B)モモジロコウモリの水面採餌の様子。

モモジロコウモリの採餌と 2 種類の「social call」

モモジロコウモリは、池や川の水面近くを飛びながら、昆虫を捕まえています[3]。獲物に接近する際には Feeding Buzz (図 2 (A)) と呼ばれる特徴的な音声を出すため、この音を録音することで、「今、採餌している」ということが分かります。一方で、採餌中にはエコーロケーションとは異なる音声も発せられます。これらは “social call (社会的音声)” と呼ばれ、周囲にいる他のコウモリとのコミュニケーションに関わっていることが知られています[4]。今回の計測では、大きく音声構造の異なる 2 種類に音声を分け、違いを比較しました。ひとつは、短くて

反復的な音声である「SC-Buzz」、もうひとつは長く複雑な音声の「SC-Long」です(図 2 (B))。これらの音が、いつ、どのような状況で使われているのかを比較することでそれぞれの役割を探りました。

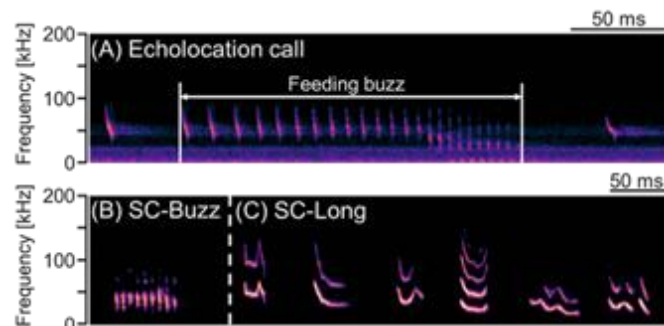


図 2. モモジロコウモリの音声のスペクトログラム

池での音声と行動を記録するしくみ

調査は、北海道大学苫小牧研究林内にある直径約 20 メートルの池で行いました。この池には、毎晩多くのモモジロコウモリが来て採餌を行っています。池の周囲には、8 個のマイクロホンを中心ように配置し、カメラは暗闇でも飛翔を捉えられるサーモカメラを 2 台設置しました(図 3)。これにより、「どの個体が、どの音を、どのタイミングで発声したのか」を、音と映像を対応させながら解析することができます。この方法を用いて、複数の夜にわたりコウモリの行動を記録しました。

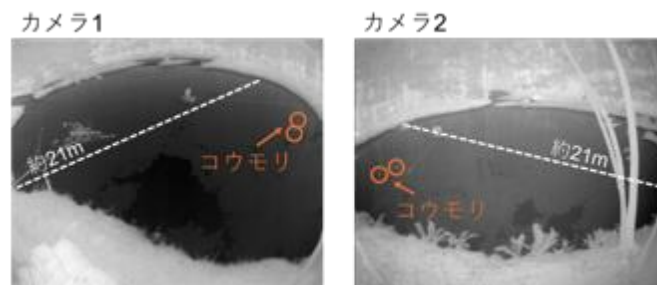


図 3. サーモカメラの映像と池を飛んでいるコウモリ。

social call の発声時、コウモリはどう行動しているのか

解析の結果、social call が観察された場面は 30 例ありました。それぞれの音声について、発声の前

でコウモリがどのように行動したのかを詳しく調べました。まず注目したのは、餌場から先に離れるのは誰かという点です。SC-Buzz が出された場面では、音声を受け取った側の個体が先に池を離れることが 11 例中 10 例と多く見られました。一方、SC-Long が出された場面では、音声を出したコウモリ自身が先に退出するケースが 19 例中 17 例とほとんどでした。また、音が出されるタイミングにも違いがありました。SC-Buzz は、池に入りたてのタイミングや、退出の前後など、比較的広い時間帯で発せられていました。それに対して SC-Long は、餌場を離れる直前や直後といった、ごく限られたタイミングに集中していました (図 4)。他にも、social call の発声までにコウモリが何度獲物へアタックしたか (Feeding Buzz の数) を調べました。すると、SC-Buzz を発声したコウモリの方が全く獲物へアタックしていない確率が高い傾向があることが分かりました (図 5)。さらに、音声が発せられたときの個体同士の距離を見ると、SC-Buzz と SC-Long で大きな差はありませんでしたが、SC-Long はかなり離れた距離でも使われていることがわかりました。

2つの音声が持つ、異なる役割

これらの結果から、2種類の social call は、それぞれ異なる役割を担っている可能性が見えてきました。SC-Long は、餌場を離れる直前に発せられ、遠くにいる個体にも届く音です。この特徴から、「自分はもうここを離れる」という意思を周囲に伝え、エコーロケーション音声の干渉や衝突を避けるための、協調的な合図として使われている可能性が考えられます。一方で SC-Buzz は、発声者自身の採餌回数が少ない場面で多く見られ、相手が先に退出することが多い音でした。さらに、池に侵入した直後にもよく使われていたことから、「ここに自分がある」という存在の主張や、採餌の優先順位を調整するための、やや競争的なサインとして機能しているのかもしれませんが。今回の研究は、コウモリの社会構造や採餌戦略を理解する上で重要な基盤となりうると考えています。

文献情報

[1] Davidson, S. M., & Wilkinson, G. S., 2004. Function of male song in the greater white-lined bat, *Saccopteryx bilineata*. *Animal Behaviour*, 67(5), 883–891..

[2] Brown C. et al., 1991. Food-sharing signals among socially foraging cliff swallows. *Animal Behaviour*, 42, 551–564.

[3] Luo J. et al., 2012. Plasticity in echolocation calls of *Myotis macrodactylus* (Chiroptera: Vespertilionidae): implications for acoustic identification. *Acta Theriologica*, 137–143.

[4] Guo D. et al., 2021. Social calls influence the foraging behavior in wild big-footed myotis. *Frontiers in Zoology*, 18, 3.

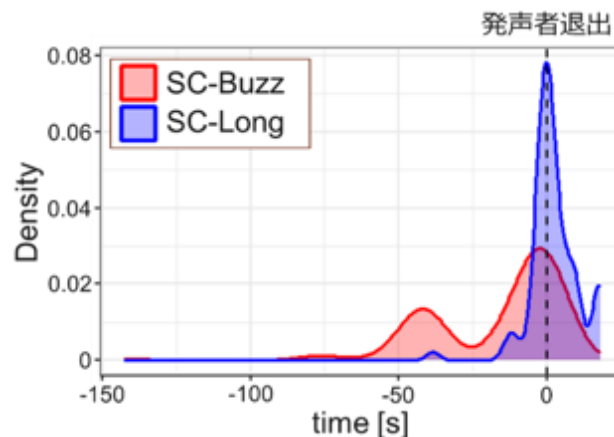


図 4. 発声者の退出を 0 秒としたときに何秒前に social call が発声されたかを表す確率密度分布のグラフ。SC-Long は SC-Buzz と比較して 0 秒付近で発せられる傾向にありました (LMM: estimate = 14.48, $p = 0.079$)。

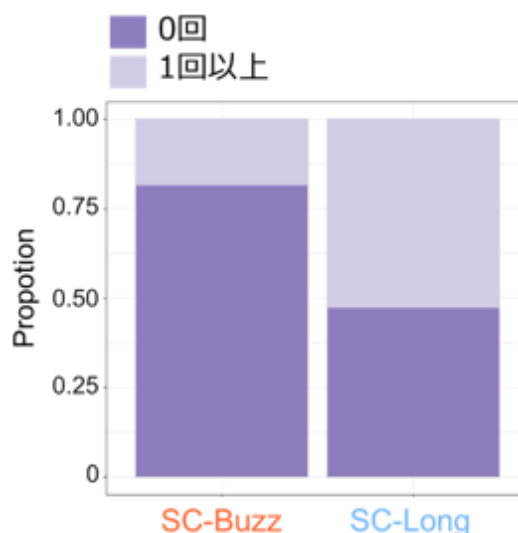


図 5. social call が発せられるまでにコウモリが全く獲物へアタックしていない確率。SC-Buzz の方が SC-Long よりも全くアタックしていない確率が高い傾向にありました (estimate = 1.504, $p = 0.095$)。

ペア飛行するユビナガコウモリの 音響的視線制御と飛行経路に関する分析

矢尾 遼太 (同志社大学 生命医科学研究科 医工学・博士前期課程 1年)

はじめに

コウモリは口や鼻から超音波を放射し、エコーを聴くことで周囲の環境を把握するエコーロケーションを行っています。この能力によって、コウモリは夜間や洞窟内のような暗闇であっても飛翔する小さな昆虫を捕食したり、障害物を回避することができます。特に、洞窟に生息しているコウモリの多くは同種個体と数十、多ければ1万匹以上のコロニーを形成しており[1]、他種個体が同じ洞窟内に生息することもあります。そのため、多数のコウモリが飛行している際には自身のパルスとエコーだけでなく、他個体からのパルスやエコーなど多数の音声が存在するためエコーロケーションが妨害されてしまいます。しかし、このような環境下でもコウモリは障害物や他個体に衝突することなく飛行することが可能であり、衝突を回避する戦略を持っていると考えられます。

そこで、私はコウモリのパルス放射方向に着目して研究を行っています。コウモリの音響的視線であるパルス放射方向はコウモリが飛行中に空間的な注意をどこに向けているかを示す重要な指標になります[2, 3]。そのため、複数のコウモリが同時に飛行する際の個々のコウモリのパルス放射方向を計測することで、コウモリが他個体との相対的な位置関係に応じて、自身の音響的視線をどのように制御して衝突を回避しているのかを明らかにできると考えました。

実験・解析方法

本研究ではユビナガコウモリ (*Miniopterus fuliginosus*、図 1(A)) を対象に実験を行いました。ユビナガコウモリは洞窟性のコウモリで、同種の多数のコウモリとコロニーを作り生活しています。体重は 10~17 g、体長は 60~70 mm、翼長は 200~300 mm で口からパルスを放射します。パルスは周波数が約 100 kHz から 40 kHz まで下降する FM (Frequency-modulation) 音 (図 1(B)) を使用しており、パルス放射方向が頭部方向と一致することが先行研究により明らかになっています[4]。そこで、

今回の実験ではユビナガコウモリを観測室内の飛行スペース (7.5×4.5×2.35 m) で単独飛行させたときとペア飛行させたときの、音声、飛行軌跡、頭部方向の計測を行いました。音声の計測には、小型音響ロガー (Girlier 社、サンプリング周波数 288 kHz) を用いました。この音響ロガーに搭載されている MEMS マイク (Knowles 社) は無指向性のため、ユビナガコウモリの実頭 3D データを用いて制作した耳介型ホーンを装着し、集音性と指向性を付与^[5]しました (図 1(C))。また、パルス放射方向を頭部方向で代用するためコウモリの頭部に直径 5 mm の球形赤外反射マーカ-2 個を体軸に沿って 10 mm 間隔で装着しました。そして、コウモリの飛行軌跡及び頭部方向を観測室上部に設置した 21 台の赤外光カメラ (PrimeX 41、OptiTrack 18 台、PrimeX 22、OptiTrack 3 台) からなる光学式モーションキャプチャシステムを用いて計測を行いました。

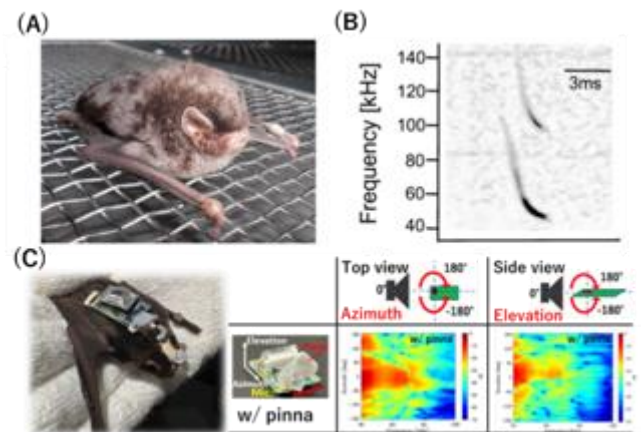


図 1. ユビナガコウモリ(A)と放射パルス(B)耳介付き音響ロガーと反射マーカ-を搭載した。ユビナガコウモリ(C)

次に、パルスの分類を行いました。録音音声には、自身が発したパルス (自己パルス)、他個体から届くパルス (他者パルス)、周囲からのエコーが含まれます。この中から、パルス放射方向の算出に必要な自己パルスのみを抽出するために、2 個体のコウモリの 3 次元位置・速度情報を用いて、他個体へ到達する音声波形を推定しました。

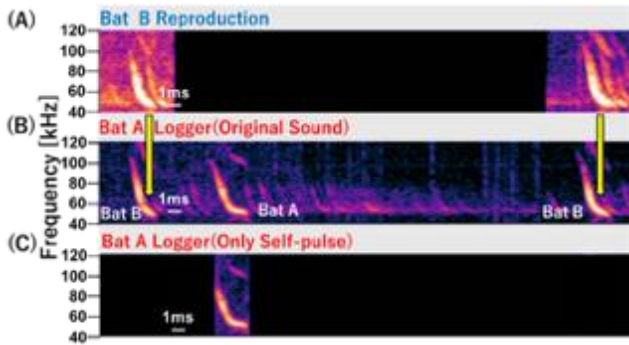


図 2. 個体へ到達する音声波形(A)と実際の録音音声(B),自己パルスのみを抽出した音声(C)

そして、実際の録音音声と再現音声を比較して時系列が一致したパルスを他者パルス、一致しなかったパルスを自己パルスとして分類し(図2)、各コウモリのパルスを放射したタイミングに一致する頭部方向をパルス放射方向としました。

結果・考察

飛行スペースをおおよそ周回する 5 秒間を抽出し、単独飛行時の放射方向の変化を図3に示します。

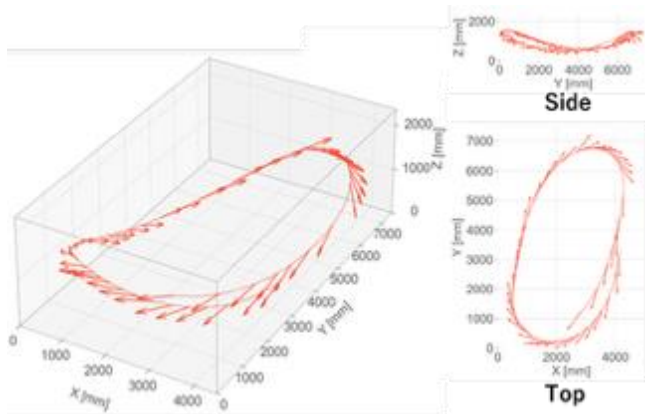


図 3. 単独飛行時のパルス放射方向

今回の実験で使用した 3 個体のコウモリは、単独飛行時にパルスの放射方向を、進行方向に対して外側となる壁側に向ける傾向がみられました。次に、単独飛行時とペア飛行時における進行方向を基準とした際のパルス放射方向の分布を図 4 に示します。

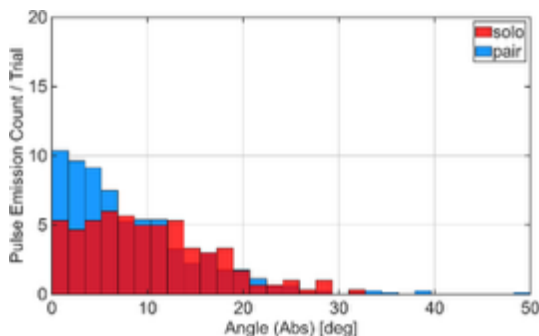


図 4. 単独飛行時とペア飛行時のパルス放射方向の分布

両者の放射方向の分布を比較すると、単独飛行時はおよそ 0~20°の範囲でパルス方向が広く分布していることが分かります。一方、ペア飛行時は単独飛行時に比べて、パルス放射回数が多くなり、同時に進行方向への放射の割合が、多くなる傾向がみられました。そこで、ペア飛行の中でも 2 個体が追従飛行している場面(図5)に着目しました。先行して飛行するコウモリと後ろから追従して飛行するコウモリそれぞれのパルス放射方向の分布(図6)を比較してみると、先行するコウモリの方がパルスの放射回数が多く、特に進行方向への放射が集中していることが分かります。一方、後方より追従しているコウモリは、パルス放射回数が少なく、さらにパルス放射方向は進行方向に対して広い範囲に分布していました。また、後方個体はパルス放射回数の少なさにもかかわらず、前方個体とほぼ同一の飛行経路をたどっています。

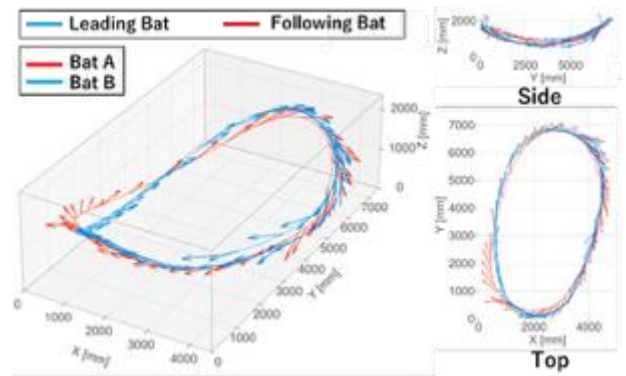


図 5. 追従飛行時のパルス放射方向

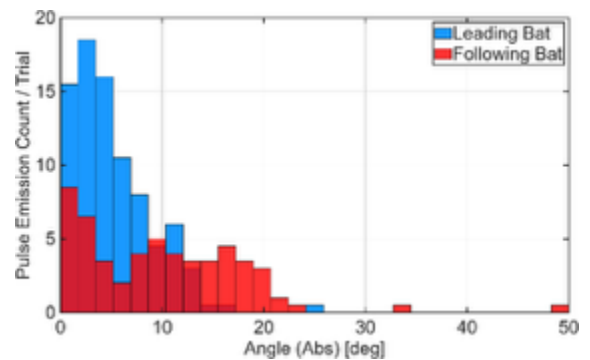


図 6. 追従飛行時に先行するコウモリと追従するコウモリのパルス放射方向の分布

これらのことから、先行するコウモリは進行方向に向けて集中的にパルスを放射し、前方の環境情報を取得・提供しているのに対し、追従するコウモリは放射回数を減らしながら、先行個体のセンシング情報を聴取しつつ、進行方向からやや外れた方向へパルスを放射することで、周囲の空間情報も同時に収集しているのではないのでしょうか。さらに、先行個体もまた、追従個体が広範

囲に放射したパルスのエコーを聴くことで、正面方向から得にくい側方や後方の情報を補完的に得ている可能性も考えられます。これらの結果から両個体は互いのセンシング情報を相補的に利用することで、酷似した飛行軌跡を維持しながら協調的に飛行している可能性が示唆されます。

文献情報

[1] Fujioka, E., Fukushima, M., Ushio, K., Kohyama, K., Habe, H., & Hiryu, S., 2021. Three-Dimensional Trajectory Construction and Observation of Group Behavior of Wild Bats During Cave Emergence," *J. Robot. Mechatron.*, 33(3), 556-563. DOI: <https://doi.org/10.20965/jrm.2021.p0556>

[2] Yamada, Y., Hiryu, S., Riquimaroux, H., & Watanabe, Y., 2016. Species-specific control of

acoustic gaze by echolocating bats, *Rhinolophus ferrumequinum nippon* and *Pipistrellus abramus*, during flight. *Journal of Comparative Physiology A*, 202, 641–652. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s00359-016-1121-0>

[3] Yamada, Y., Hiryu, S., & Riquimaroux, H., 2020. Modulation of acoustic navigation behaviour by spatial learning in the echolocating bat *Rhinolophus ferrumequinum nippon*. *Scientific Reports*, 10, 11710. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67470-z>

[4] 青木耀大, 2025. 日本音響学会研究発表会講演論文集, 2-Q-28.

[5] 妹尾規良 他. 2024. 日本音響学会研究発表会講演論文集, 1-P-33.

障害物回避行動中のコウモリの 超音波放射方向と頭部方向制御の関係

青木 耀大 (同志社大学大学院 生命医科学研究科 脳神経行動工学研究室)

はじめに

暗闇でも迷うことなく飛び回り、障害物を軽々と避けていくコウモリ。その卓越した能力は、私たちには聞こえない超音波を使って周囲の世界を“見る”ことで支えられています。では、コウモリは飛びながらどの方向に注意を向け、どのように周囲環境を把握しているのでしょうか？これまでにも、この“音響的視線”に関して多くの研究が行われてきましたが、その多くはコウモリを固定した状況下での計測であり、自由に飛行している最中にどのようにビームを操っているかまでは十分に明らかにされてきませんでした。

そこで私たちは、音の放射様式の異なる2種類のコウモリ—鼻腔から CF-FM 音を放射するキクガシラコウモリ(*Rhinolophus nippon*)と、口から FM 音を放射するユビナガコウモリ(*Miniopterus fuliginosus*)—に注目しました(図 1)。一般的にコウモリは、私たち人間が“見たい方向に顔を向ける”のと同様に「見たい方向へ頭部を向けることで放射方向を制御している」と考えられてきました。しかし、鼻腔の周囲に鼻葉というひだを持つキクガシラコウモリは、超音波の放射方向を左右に素早く変化させる行動が観察されており[1]、頭部そのものをそれほど素早く動かすことが困難であることから、頭の向きではなく鼻葉の動きによって放射方向を制御しているのではないか・・・という考えも出てきています[2]。

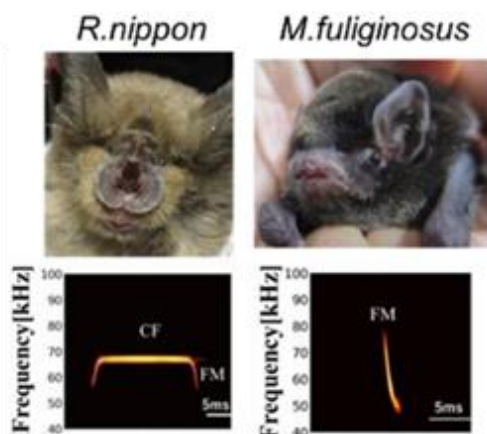


図 1. 2 種のコウモリが放射するパルスのスペクトログラム

本研究では、こうした2種のコウモリが自由飛行中にどのように超音波放射方向を制御しているのかを明らかにするため、飛行中の頭部方向と超音波放射方向を同時計測できる実験系を構築し、その動きを詳細に解析しました。特に頭の向きがそのまま放射方向を決めているのか、あるいは鼻葉などの構造によって頭部とは独立して放射方向を制御しているのかといった点に注目し、キクガシラコウモリとユビナガコウモリの“音響的視線”の使い方を比較しました。結果、両種の間には想像以上に大きな違いが見られ、飛行中の探索戦略にも種特有の特徴があることが明らかになりました。ここでは、その結果について紹介させていただきたいと思います。

行動実験

行動実験に用いたコウモリはキクガシラコウモリ(5 個体)とユビナガコウモリ(5 個体)の2種類です。この2種は音の放射様式だけでなく飛行スタイルも全く異なり、キクガシラコウモリは比較的低速で、旋回が多い飛行をするのに対し、ユビナガコウモリは高速で飛行できる分、急旋回が苦手です。コウモリが飛行する空間は、天井から複数の障害物(プラスチック製チェーン)を吊り下げ、3種類の障害物環境を構築しました。それぞれのコウモリを1個体ずつ飛行させて、周囲の壁に設置した24個のマイクロホンを用いて超音波放射方向を計測し、21台のカメラによるモーションキャプチャシステムを用いてコウモリの3D飛行軌跡を計測しました(図2)。また、反射マーカー2個を体軸に沿ってコウモリの頭部に装着し、頭部方向も同時に計測しました。

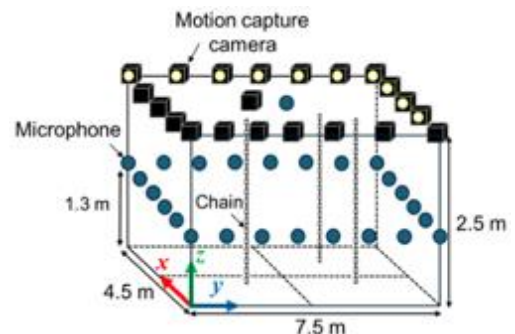


図 2. 実験系

結果① 超音波放射方向と頭部方向の関係

図3は、障害物環境下を飛行した際のキクガシラコウモリとユビナガコウモリの超音波放射方向(青線)と頭部方向(赤線)の例です。これより、ユビナガコウモリは頭部方向と超音波放射方向がほぼ一致しているのに対し、キクガシラコウモリは頭部とは異なる方向に超音波を放射していることがわかりました。

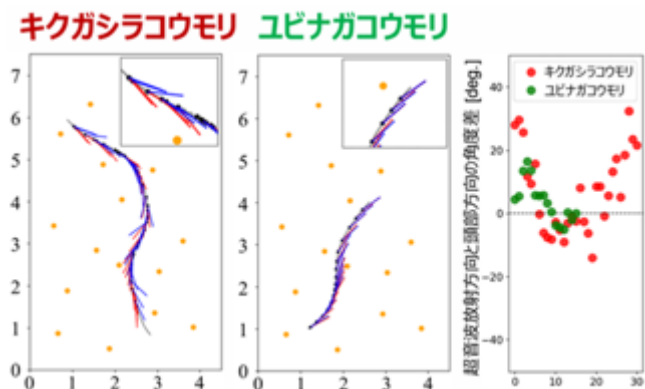


図3. 2種のコウモリの頭部方向と超音波放射方向の例

また、放射方向と頭部方向の角度差にも種間で有意な差があることがわかりました。(ユビナガコウモリ; $4.3 \pm 3.4^\circ$, $n = 304$, キクガシラコウモリ; $14.9 \pm 10.1^\circ$, $n = 439$, Mann-Whitney U 検定, $p < 0.001$, 図4). 以上より、口から超音波を発するユビナガコウモリは頭部を動かすことで、鼻腔から超音波を発するキクガシラコウモリは鼻葉を用いて超音波放射方向を制御している可能性が示唆されました。

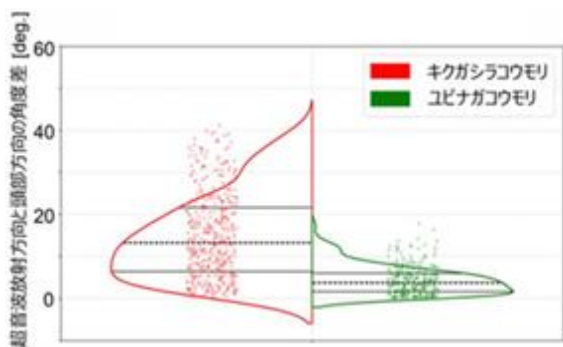


図4. 頭部方向と超音波放射方向の角度差比較

結果② パルス検知領域の時空間変動

次に、コウモリは複雑な環境を探索する上で、連続するパルス間で放射方向をどの程度変化させているのかを調べました。キクガシラコウモリは図5のようにダブルパルスといったパルス群として放射するという特徴があるので、キクガシラコウモリのパルス群内(A)、パルス群間(B)、そしてユビナガコウモリのパルス間(C)における放射方向の角度差をそれぞれ示したのが図5です。

結果、キクガシラコウモリはパルス群内 ($5.5 \pm 3.7^\circ$) の方がパルス群間 ($12.7 \pm 9.1^\circ$) よりも放射方向の角度差が有意に小さく(Mann-Whitney U 検定, $p < 0.001$)、パルス群とパルス群の間で放射方向を切り替えていることがわかりました。すなわち、キクガシラコウモリが放射するダブルパルスは、左右に大きく振ってより多くの情報を取得しようとしているというよりも、ある対象物体を複数回少しだけ角度を変えて連続的に観察することで、周囲情報をより高解像度取得するための行動であることが示唆されました。

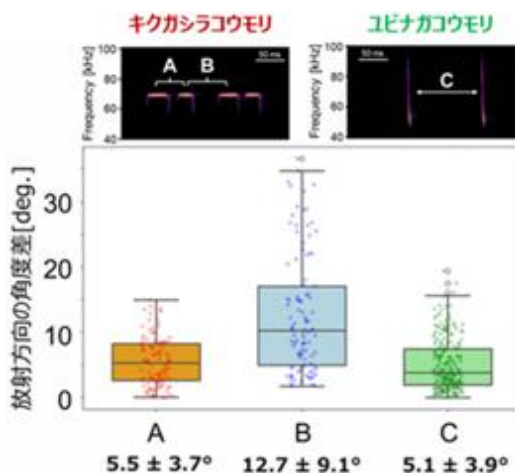


図5. 放射方向の角度差(A)キクガシラコウモリのパルス群内、(B)パルス群間、(C)ユビナガコウモリのパルス間

また、本実験で計測した超音波の指向性 (-6dB、キクガシラコウモリ; $\pm 22.52^\circ$ 、ユビナガコウモリ; $\pm 34.20^\circ$) を用いて、各コウモリのパルス検知領域を可視化してみました。すると、指向性が狭いキクガシラコウモリはパルス群間で放射方向を大きく変化させることで、ユビナガコウモリとほぼ同じ検知領域を確保している様子が確認できました。よって、キクガシラコウモリは鼻腔の周囲にある鼻葉を動かすことで超音波放射方向を柔軟に制御し、高周波利用に伴う狭い指向性を補償していることが考えられます。

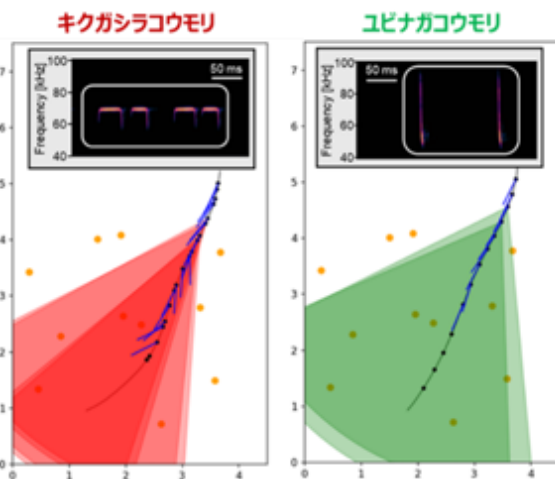


図6. 2種のコウモリのパルス検知領域の時空間変動比較

まとめ

今回、2種のコウモリを対象に自由飛行中の頭部方向と超音波放射方向を同時計測しました。その結果、両種の間で明確な“音響的視線”の戦略の違いが明らかになりました。これらの知見は、コウモリが飛行中にどのように注意を分配し、複雑な環境をどのように知覚しているのかを理解する上で重要であり、今後はこうしたビーム制御が捕食行動や複雑な群れ行動など、より自然な状況でどのように発展するのかを明らかにすることが期待されます。

参考文献

[1] Teshima, Y., Yamada, Y., Tsuchiya, T., Olga, H., & Hiryu, S., 2022. Analysis of echolocation behavior

of bats in “echo space” using acoustic simulation. *BMC Biology*, 20, 64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12915-022-01253-y>

[2] Matsuta, N., Hiryu, S., Fujioka, E., Yamada, Y., Riquimaroux, H., & Watanabe, Y., 2013. Adaptive beam-width control of echolocation sounds by CF-FM bats, *Rhinolophus ferrumequinum nippon*, during prey-capture flight. *Journal of Experimental Biology*, 216(7), 1210–1218. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.081398>

BiP を使ったバイオリギング解析に挑戦~その 1 1

・ estimate_flight_height.py : 気圧データから飛行高度推定

渡辺伸一 (リトルレオナルド社/麻布大学獣医学部)

本記事は、「BiP を使ったバイオリギング解析に挑戦」シリーズの第 11 回です。前号では、GPS 移動データから行動の変化を二次元空間で定量化する手法を扱いましたが、本号では視点を鉛直方向へ移し、**鳥類の飛行高度を推定する手法** (図 1) を紹介します。

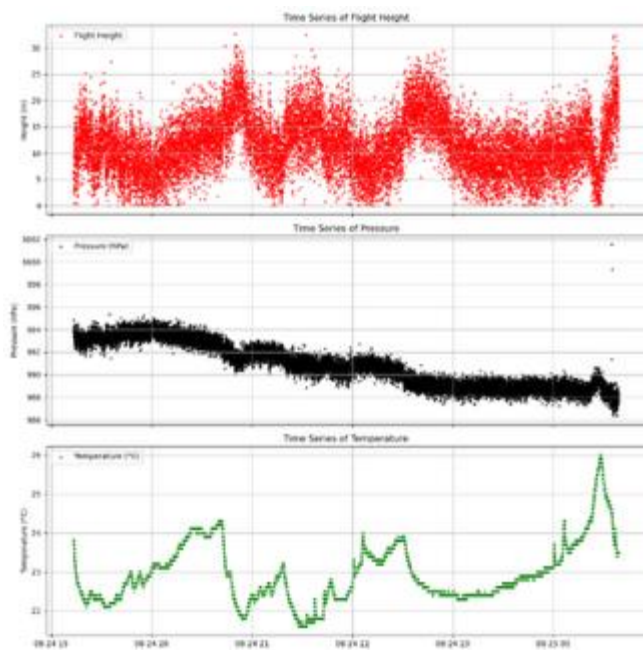


図 1. オオミズナギドリの飛行中の気温 (下)・気圧 (中) データから推定した飛行高度 (上)

近年のバイオリギング研究では、飛行高度は主に GPS の三次元測位によって取得されてきました。海鳥の飛行高度解析では GPS 高度を利用した研究が報告されています (例えば、Shiomi 2023 ; Kumagai et al. 2023)。しかし、GPS による高度推定にはいくつかの課題があります。

第一に、GPS の鉛直方向の測位誤差は水平方向より大きいことが知られています。一般的に水平誤差が数 m 程度であるのに対し、鉛直誤差は条件によって ±10–30 m 程度、条件によってはそれ以上となる場合があります。低高度を飛行する海鳥では、この誤差は実際の飛行高度変化と同程度となり、解釈を難しくします。

第二に、GPS 高度は通常、楕円体高またはジオイド面を基準として計算されるため、海面や地表からの実際の距離 (飛行高度) とは一致しません。とくに海上では、研究者が知りたい「海面から何 m 上を飛んでいるか」という情報とは直接対応していません。

一方、動物搭載ロガーに記録された気圧データは、天候変動の影響を受けるものの、短時間スケールでは高度変化に極めて敏感に反応します。そのため、気圧変化を適切に補正することで、高時間分解能の飛行高度推定が可能になると考えられます。

本稿では、BiP で標準化した気圧データから高度を推定するプログラム (estimate_flight_height.py) を紹介します。

気圧による高度推定の基本原理

以下は**国際標準大気モデル** (ISA, International Standard Atmosphere) に基づき、気圧と気温を用いて飛行高度を計算する基本式です。

$$P = P_0 \times \left(1 - \frac{L \cdot h}{T_0}\right)^{\frac{gM}{R}}$$

ここで、

- **P**: ある高度での気圧 (Pa)
- **P₀**: 海面での気圧 (Pa)
- **L**: 温度減率 (標準値 0.0065 K/m)
- **h**: 高度 (m)
- **T₀**: 海面上の温度 (標準値 288.15 K)
- **g**: 重力加速度 (標準値 9.80665 m/s)
- **M**: 空気のモル質量 (標準値 0.0289644 kg/mol)
- **R**: 気体定数 (標準値 8.31432 J/(mol · K))

上記の式から、標準大気条件下での定数 (44330) と指数 (0.1903) を算出し、気温データ (temperature °C) の単位をケルビン (K) に変換

して以下の式が求まります。

$$flight_height = 44330 \times \left(1 - \left(\frac{pressure}{P_0}\right)^{0.1963}\right) \times \frac{temperature + 273.15}{T_0 + 273.15}$$

- P_0 : 推定された海面気圧
- T_0 : 推定された海面温度 (存在する場合)
- P_{0n} : P_0 の計算に使用したデータポイント数
- **flight_height**: 推定された飛行高度

実際の解析では、大気の状態を仮定した単純計算ではなく、移動平均や基準圧の推定を組み合わせることで短期的な高度変化を抽出します。本コードでは、動物が水面または地面付近にいる時間帯を基準として気圧ドリフトを補正し、相対高度を推定します。

実行手順

1. データとプログラムの準備

プログラム (`estimate_flight_height.py`) とサンプルデータ (`data.csv`) を同じディレクトリに保存します。このデータはこれまでの解析でも使用してきたオオミズナギドリに取りつけた GPS ロガー (AxyTrek、Technosmart 社製) のデータの一部で、緯度経度や加速度情報のほか気圧と温度のデータを含みます。今回はそのデータの中から以下の項目を抽出して解析に使用します。

- time (日時)
- pressure (気圧)
- temperature (気温)

2. Anaconda 環境の準備

前回までと同様、NumPy や pandas のバージョン不整合によるエラーを避けるため、BiP 解析用の専用環境 (bip-analysis) を使用します。

- 新しい Anaconda 環境を作成 (前回作成していれば不要)

```
conda create -n bip-analysis python=3.11
numpy=1.26.4 pandas=2.1.4 scipy=1.11.4
matplotlib=3.8.4 -y
```

- 環境を有効化

```
conda activate bip-analysis
```

3. 必要なライブラリのインストール

(前回までに行っていれば不要)

使用する Python 環境に必要なライブラリ (matplotlib) をインストールしてください。

```
conda install matplotlib -y
```

4. プログラムの実行

プログラムを実行し、プロンプトに従って必要

な項目を入力します。

```
python estimate_flight_height.py
解析する CSV ファイル名を入力してください (拡張子 CSV を省略) : data
気温データを元に補正した高度を計算します。
```

アルゴリズムの概要

本手法の特徴は、「海面にいる瞬間を逐次推定し続ける」ことで、気象変動を明示的に除去せずに補正を実現している点にあります。GPS 高度のような「絶対値の高度」そのものを厳密に復元するというよりも、着水・離水や飛行中の高度変化を、連続的かつ安定に捉えることを目的としています。処理の流れは以下のとおりです。

1. データ読み込みと前処理

入力 CSV から time と pressure (および存在する場合は temperature) を読み込みます。time は小数秒の有無が混在していても読めるように変換し、pressure と temperature は数値として解釈できない値を欠損 (NaN) として扱います。

本データでは加速度などが高頻度で記録されるため、気圧・気温が欠損となる行が混在します。そのため、気圧 (および気温) と時刻が揃っている行のみを抽出して解析に用います。

```
海面付近の気圧・気温を計算する時間範囲 (分)
(初期値 : 60) :
海面付近の気圧を計算するパーセンタイル (%)
(初期値 : 99) :
推定高度が 0 m 未満の値を置換しますか? (y/n)
(初期値 : y) :
0 m 未満を置換する値 (初期値 : 0) :
```

2. 局所ウィンドウ内での基準気圧 P_0 の推定 (天候変化への追従)

本コードには「長期的な気圧変動を別途平滑化する」処理はありません。代わりに、各時刻で P_0 を逐次推定することで、天候によるゆっくりとした気圧変動に追従できる設計になっています。同時に、 P_0 推定に使われた点数を P_{0n} として保存します。 P_{0n} が小さい場合は、基準気圧推定が不安定になるため注意が必要です。

また、気温データがある場合は P_0 に最も近い気圧の行から基準気温 T_0 を取得し、温度補正に利用します。

各時刻について、指定した時間範囲 (初期値 : 60 分) のデータを取り出し、その中の気圧分布から海面付近に相当する基準気圧 P_0 を推定します。

ここでは、指定したパーセンタイル (初期値 : 99%) を P_0 として採用します。これは、短時間

の潜水などで一時的に水圧により気圧が急激に増加しても、その影響が上位側に出るため、気圧分布の高圧側 (= 最も低高度、海面付近に相当する状態) を代表値として採用することで、潜水による一時的な高圧値の影響を受けにくくしています。

これらの値は対象種に応じて、調整が必要です。このデータを取得したオオミズナギドリは、1 回あたりの飛行時間が長く、潜水頻度が低く、潜水時間も短いため、上記のような数値を基準としました。飛行時間が短いあるいは潜水頻度が高い鳥類種では 60→30 分間隔、99%→95%などと調整して使用します。

3. 気圧高度式による高度換算 (必要に応じて温度補正)

観測気圧 P と基準気圧 P_0 の比 P/P_0 を用い、気圧高度 (barometric altitude) の近似式で高度を計算します。気温データがある場合は、観測気温と基準気温を用いた補正も行い、温度差による誤差を軽減します。

4. 負の高度 (海面より下) の扱い (オプション)

潜水中は水圧により気圧が増加するため $P > P_0$ となり、計算上は負の高度 (海面より下) が出ることがあります。飛行高度推定ではこの値は外れ値となることが多いため、実行時の設定により、0 m 未満の推定高度を指定値 (初期値: 0 m) へ置換できます。置換しない設定も選択可能です。

[Info] 0 m 未満の推定高度 118 点を 0.0 m に置換しました。

P_0 の中央値: 991.83 hPa

P_{0n} の中央値: 3601.00

T_0 の中央値: 22.70 °C

flight_height (置換後) の中央値: 11.26 m

5. 結果の出力 (プロンプト表示・図の保存・CSV 出力)

計算後、以下の統計量が出力されます。これらは、推定結果の品質チェック指標として利用できます。

• プロンプト上の統計出力

P_0 の中央値: 推定された基準気圧 P_0 の代表値 (解析区間の“海面気圧”の目安)

P_{0n} の中央値: P_0 推定に使えた点数の代表値 (小さいと推定が不安定になりやすい)

T_0 の中央値 (温度がある場合): 基準気温 T_0 の代表値

flight_height (置換後) の中央値: 最終的な推定高度 (負値置換後) の代表値 (局所基準気圧に

対する相対飛行高度)

さらに P_{0n} が小さい場合は、時間幅の見直しを促す注意が表示されます。

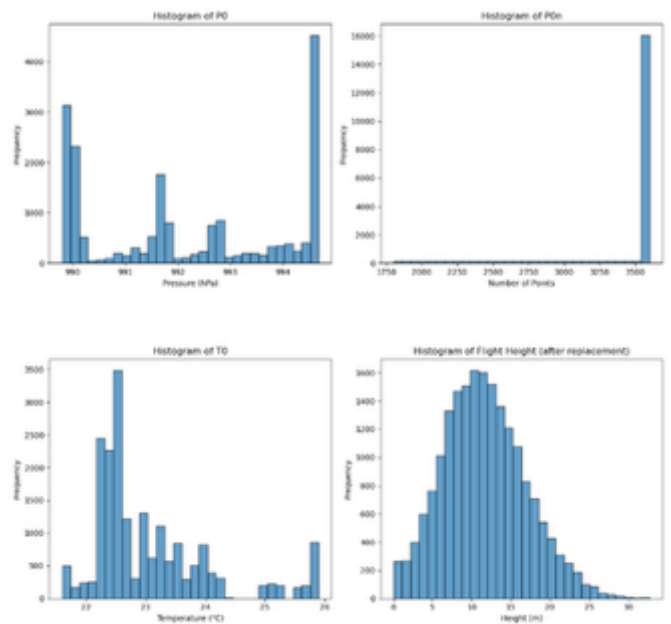


図 2. 推定結果 (P_0 : 左上、 P_{0n} : 右上、 T_0 : 左下、Flight height: 右下) のヒストグラム

• 出力図 (時系列図)

推定高度 (flight_height) と、気圧・気温 (ある場合) の時系列図 (図 1) が保存されます。

飛行時: 高度が上昇し、変動幅も大きくなりやすい

着水・海面付近: 0 m 近傍に戻る (負値置換を有効にした場合は 0 m に集約)

• 出力図 (ヒストグラム)

P_0 、 P_{0n} 、 T_0 (ある場合)、flight_height の分布 (図 2) を確認できます。

P_0 ヒストグラム: 解析期間の気圧 (天候) の変動範囲

P_{0n} ヒストグラム: 基準推定に使える点数の安定性 (極端に小さい区間が多いと注意)

flight_height ヒストグラム: 飛行高度の頻度分布

• CSV 出力

元データに P_0 、 T_0 、 P_{0n} 、flight_height_raw, flight_height 等を追加して保存します。以降の解析 (飛行区間抽出、環境との対応付け等) はこの出力 CSV を用いると便利です。

まとめ

本手法のポイントは、絶対高度の厳密な復元ではなく、局所的に推定した基準気圧 P_0 を基準とすることで相対的な高度変化を安定して推定する点

にあり、「高度そのもの」よりも「高度変化」を解析対象とする設計になっています。気圧センサーデータから推定した飛行高度は、GPS 高度が持つ誤差や基準面の問題を補完し、高時間分解能で飛行高度変化を解析できる点が本手法の大きな特徴です。気圧高度推定は単独でも有用ですが、移動経路解析や行動推定と組み合わせることで、動物の空間利用をより立体的に理解するための重要な情報源となることが期待されます。

本手法は、「センサーデータから行動状態を推定する」アプローチの一例であり、これは BiP における解析思想の一例と言ってもよいでしょう。これまでの連載では、加速度による行動推定、潜水解析による水中利用、FPT 解析による水平空間利用、そして本稿で紹介した気圧による鉛直方向の行動解析を扱ってきました。これらを組み合わせることで、動物の行動を「いつ・どこで・どの

高さ／深さで行われたか」という多次元情報として統合的に理解する基盤が整いました。

次号では、これらの行動情報を応用し、バイオロギングデータを用いた 混獲リスクの可視化手法を紹介予定です。動物行動データを保全や管理へ応用する具体的な解析例を解説します。

引用文献

- Shiomi, K. 2023. Swirling flight of a seabird caught in a huge typhoon high over mainland Japan. *Ecology* 104:e4161.
- Kumagai, M., et al. 2023. Black-tailed gulls alter their flight height and airspeed according to wind conditions during their coastal commuting trips. *Mar Ecol Prog Ser* 723:201-212.

BiP News

～BiP Up 2024（研究成果）・ 2025（研究計画）発表会の案内～

渡辺伸一（リトルレオナルド社／麻布大学獣医学部）・佐藤克文（東京大学大気海洋研究所）

前号で報告したように 2025 年に募集した「BiP Up 2025」には、7 件（継続 1 件を含む）の研究が採択されました。「BiP Up」は、BiP-earth Project が主催するプロジェクトで、BiP の新たな研究の発展を支援することを目的とし、採択された研究に対してデータロガーを無償提供するものです。

このたび、**昨年度採択者の研究成果および新規採択者の研究計画発表会**を下記のとおり開催いたします。研究計画発表では、採択者の皆様に、これまでの研究の背景や、バイオロギング調査の計画について発表していただきます。また、研究会会員間で情報を交換し、研究計画をより実現可能なものへとブラッシュアップする機会とすることを目的としています。

発表会には**現地参加**のほか、**Zoom によるオンライン参加**も可能です。採択者の中にはバイオロギング調査が未経験の方も含まれますので、研究会会員および賛助会員の皆様にはぜひご参加いただき、調査の助言やディスカッションにご協力いただければ幸いです。

開催概要

日時) 2026 年 3 月 21 日 13:00~17:00
会場) 東京大学大気海洋研究所 (217 号室)
発表内容) 各発表 20 分 (質疑時間を含む)

13:00-15:00 2024 年度採択者による成果報告

●井上 巨人 (神戸大学)

ウミガメの目線から探る Enrichment Device の効果

●大谷 健太郎 (神戸大学大学院)

ニホンイシガメはいつ・どこで産卵するのか？

●鎌田 真寿 (東京大学大学院)

オニヒトデはいつサンゴを捕食するのか？ -室内実験と野外観察で迫る-

●堀口 祐輔 (東京海洋大学大学院)

「コイ農法」におけるコイの水田への適応戦略

●吉田 誠 (福知山公立大学)

琵琶湖在来コイの春夏秋冬：大湖沼における魚類の超長期行動データ取得手法の開発

●本藤 聡仁 (京都府立西舞鶴高等学校)

(2024 年採択課題：成果報告) 高校生による京都府冠島のオオミズナギドリの日周行動解明と普及啓発活動

(2025 年採択課題：研究計画) 高校生による冠島のオオミズナギドリの行動追跡を通じた STEAM 教育モデルの確立

(15:00-15:20 休憩)

15:20-17:00 2025 年度採択者による研究計画発表

●新屋 惣 (奄美野生動物医学センター)

奄美大島の傷病鳥獣を用いた行動解析と治療効果の評価

●Joy Savanagouder (University of the Ryukyus)

Fine-Scale Movement and Behavior of Juvenile Bull Sharks in Okinawa Using Multi-Sensor Biologging

●瀬川 晃生 (北海道大学大学院)

バイオロギングを活用した養殖魚の尾鰭振動周波数に基づく成長推定手法の開発

●谷口 真理 (株式会社自然回復)

日本列島固有のニホンイシガメの保全対策としての移植の試み：場所に馴染むを定義する

●松川 夕華 (琉球大学)

国指定天然記念物塩川を遡上するアオウミガメの行動解明

(17:30-20:00 交流会)

参加申し込み

オンライン参加をご希望の方は、以下の**応募フォーム**から**3月16日**までにお申し込みください。

次頁の QR コードからも申し込みが可能です。

<https://forms.gle/NjnbeXL9y78BntRQ6>

申し込みいただいた皆様には、後日
Zoom リンクをお送りします。



[BiP Up](#) では以下の賛助会員であるバイオロギン
グ機器メーカーにご協力いただきました。来年度
も BiP Up を継続しますので、今後も賛助会員の皆
様のご協力をお願いいたします。

協力企業



事務局からのお知らせ

■ 3月末に研究会総会をオンラインで開催いたします。詳細はメールにてお知らせいたしますので、ぜひご参加ください。

(事務局・名古屋大学生態学講座)

編集後記

■ 今年度は、学術変革A「階層的生物ナビ学」の名物企画でもある“遊牧型ポストク”(=ラボを超えて異分野交流と若手研究者の育成を図る企画)という肩書で、名古屋大の依田ラボから強力な助っ人、水谷友一研究員が同志社に1年間、滞在くださっています。大所帯のため毎日喧しい落ち着いた環境の中にも関わらず、バイオリギングのイロハを学生らにとっても丁寧に、根気強く教えてくださいました。真の研究交流を実感した一年間となり、またバイオリギング研究の面白さと奥深さを改めて感じました。このような機会を頂けて、水谷さんはもちろん、依田先生や「階層的生物ナビ学」関係の先生方にも感謝です。ありがとうございました。

それでは最後に今年もいつもの一言を。家族とそして皆さんが今年も健康で楽しい一年でありますように(^^)!【S.H】

■ 来月、国際シンポジウムでハワイに行きます。初ハワイに心が躍る一方で、円安に大変びびっております。海岸で日向ぼっこをしてるウミガメに出会えますように!【T.N】

