



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. 198

発行日 2023年2月16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 光永 靖 近畿大学 農学部 水産学科 漁業生産システム研究室

〒631-8505 奈良県奈良市中町 3327-204

TEL & FAX: 0742-43-6274 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

コウモリの捕食成否を音声から区別できるのか?

藤岡慧明 (同志社大学) 2

エコーロケーションコウモリが視ている世界を覗く

手嶋優風 (同志社大学) 3

調査報告

バイオロギングで見るオリオオコウモリの行動生態

野見亮人 (同志社大学) 5

バイオロギング初心者によるカメラ行動実験を終えて

藤井紀帆 (同志社大学) 7

研究紹介

クマは何を見ている?

小池伸介 (東京農工大学) 9

ドローンが明らかにするウマの重層社会

山本真也・前田玉青 (京都大学) 11

「採餌時におけるオリオオコウモリ」

撮影場所: 沖縄県那覇市 撮影者: 藤岡 慧明

コウモリの捕食成否を音声から区別できるのか？

藤岡慧明（同志社大学 研究開発推進機構）



コウモリの最大の特徴は、何と云っても超音波をアクティブに放射してセンシングしていることでしょう。この特徴により、音声だけから彼らの行動を知ることができます。獲物捕獲時には、Feeding buzz と呼ばれる高頻度の音声を放射するという特徴から、いつ獲物を捕食しようとしていたのかが分かります（図1）。では、捕食に成功したかどうかまで、音声だけから知ることはできるのでしょうか。

先行研究から、捕食成否には Post-buzz pause（以後 PBP、図1）に特徴が出ることが分かっています。捕獲が成功すると、獲物を口に運び、態勢を立て直す時間を要するというわけです。しかしながら、これは室内実験の結果であり、野外ではこの相関関係は見られていません。そこで、野外で採餌飛行するコウモリを対象に、捕食成否に関わる放射超音波の特徴を調べました。

本研究では、池でモモジロコウモリが獲物捕食を行う様子を、映像と音声を同期して計測しました。計測データのほぼ全ての捕食行動において、コウモリは水面に浮かぶ水生昆虫にアタックしました（図2）。捕獲してそれを保持したら成功（captured）、捕獲できなかったら失敗（failed）、また、捕獲できてもそれを落とした場合は落下（dropped）と定義し、両者と区別しました（論文の動画ページも参照）。そして、これら3つのケースにてエコーロケーション音声の特徴を調べたところ、全てのケース間において PBP に有意な差が見られることが分かりました（図3）。

これらの結果から、野外での採餌行動時においても放射超音波の特徴が捕食成否によって有意に異なることが明らかとなりました。ただし、ケース間で PBP が大きく重複していることから、音声の特徴から捕食成否を完全に区別することはできません。しかしながら、この特徴を上手く利用することが出来れば、採餌パッチ内（池）におけるコウモリの採餌量を推定することが可能です。これにより今後、コウモリの最適採餌戦略の解明に向けた研究も大きく前進することが期待されます。

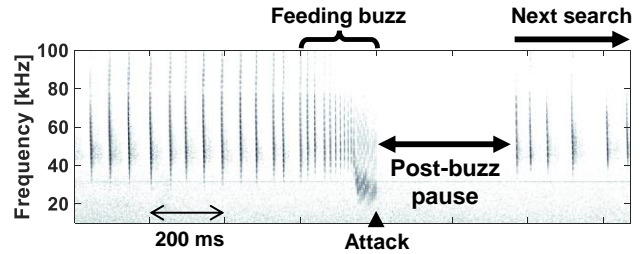


図1. 獲物捕食時におけるコウモリの音声のスペクトログラム。捕食直前には Feeding buzz と呼ばれる高頻度放射、捕食後には次の放射までに Post-buzz pause が見られる。

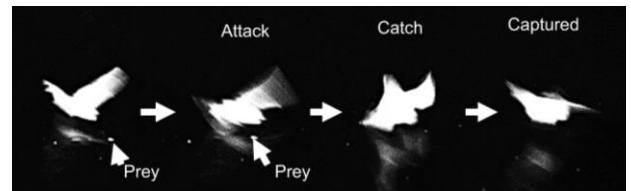


図2. コウモリが水面に浮かぶ獲物を捕食する様子（成功時）

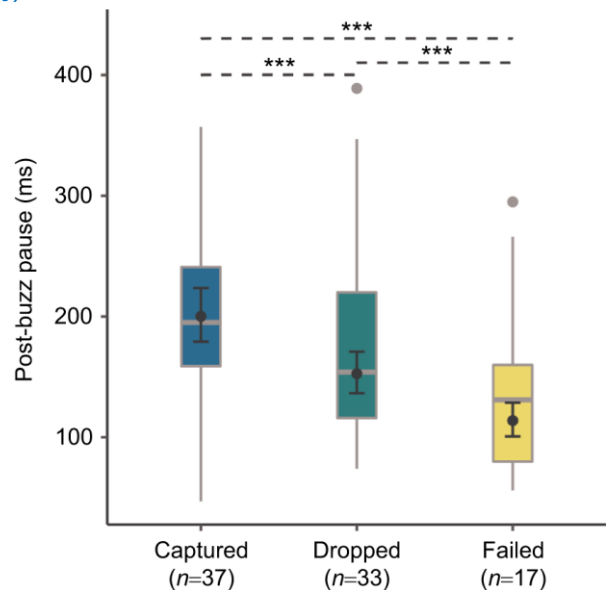


図3. 獲物の捕獲時・落下時・失敗時の Post-buzz pause の分布. χ^2 type-II Wald test: capture versus failed ratio=1.76±0.08, d.f.=82, $P<0.001$, capture versus drop ratio=1.31±0.04, d.f.=82, $P<0.001$, drop versus failed ratio=1.34±0.05, d.f.=82, $P<0.001$.

文献情報

Y. Mizuguchi, E. Fujioka, O. Heim, D. Fukui and S. Hiryu. (2022) Discriminating predation attempt outcomes during natural foraging using the post-buzz pause in the Japanese large-footed bat, *Myotis macrodactylus*. J Exp Biol 225(7): jeb243402, doi:[10.1242/jeb.243402](https://doi.org/10.1242/jeb.243402). [Movie page: <http://movie.biologists.com/video/10.1242/jeb.243402/video-1>]

新しい発見

エコーロケーションコウモリが視ている世界を覗く

手嶋優風 (同志社大学 生命医科学部)

コウモリは、イルカとともに生物ソナーの代表例であり、超音波を使い周囲環境を把握していること（エコーロケーション）が明らかになって以降、そのユニークな音によるセンシングの検討が行われてきています。近年、コウモリが表面の滑らかな壁に衝突すること（Greif and Siemers, Science, 2017）、大きさが等しく材質が異なる物体を大きさの異なる物体と誤って知覚する行動（Danilovich, et. al., PNAS, 2020）が観察されました。この研究結果は、コウモリの音によって知覚する世界（環世界（"umwelt"））は、我々ヒトとは異なっていることを示唆しています。コウモリをはじめ生物の環世界を明らかにすることは、生物学的な発見という側面のみならず、生物に優しい構造物の設計など社会実装まで影響を与えることが可能であると考えています。

コウモリが行っているエコーロケーション行動とは、生物が自ら発した音（以下パルス）が周囲の物体などから跳ね返ってくる反響音（以下エコー）を聴取することで、周囲環境を“音の像”として知覚する行動です。つまり、コウモリの知覚空間を構成する情報のほとんどはエコーに含まれています。そのため、飛行中にコウモリが聴取しているエコーを計測することができれば、コウモリの知覚空間の検討が可能となります。バイオロギング分野においては、動物に、GPS ロガーなどを装着することで、新たな発見につながってきましたが、それと同様に、コウモリの飛行中のエコー計測は、テレメトリマイクロホンや音響ロガーをコウモリの背中に装着して行います。コウモリの音響計測実験は、室内における小規模のバイオロギング実験とも言えるでしょう。しかし、マイクの工学的制約によって常にエコーを計測することはできず、コウモリが聴取するエコーは様々な物体から反射し、重畳しているため、各エコーごとに独立して解析することができませんでした。

そのため、我々は、音響計測を伴う行動実験にバーチャル空間上で行う音響シミュレーションを組み合わせることで、エコーを算出する方法を考案しました。ここでは特に、考案手法を適応した2つの研究結果について紹介します。

1. エコーから構成される空間に関する研究[1]

本研究では、行動実験で計測したコウモリのパルス

放射位置とパルス放射方向を、音響シミュレーションに導入し、コウモリの両耳の位置に受信点を設定することで、周囲からのエコーを算出しました。考案手法をコウモリの障害物回避行動に適応し、コウモリが障害物空間をエコーからどのように構築しているのかを検討しました。実験を行なった障害物空間は、チェーンで作成した通路内に、3枚の亚克力板を左右交互に配置し、コウモリがS次に飛行する空間です。結果、両耳のエコーから算出したエコー源（パルスが反射する箇所）で構成される障害物空間は、実際の障害物空間とは異なり回避行動をする上で、知覚すべき箇所のみで構成されていることが明らかとなりました（図1）。また、空間を習熟している12回目の飛行時では、初回飛行時に比べて、エコー源が障害物である板の内側のエッジ部分に集中している結果となり、障害物回避に必要な情報のみで空間が構成されている可能性が示唆されました。また、これまでパルス放射方向と旋回角速度の間に相関があることは明らかでしたが、エコーの到来方向が、コウモリの旋回角速度と相関があることが、本研究で初めて明らかとなりました。

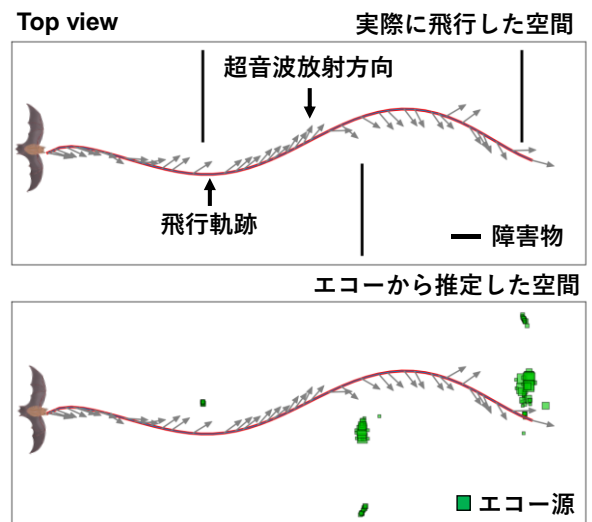


図1. コウモリが実際に飛行した障害物空間（上）と算出したエコーから推定した空間（下）のTop view. 赤の実線がコウモリの飛行軌跡、灰色の矢印がコウモリのパルスの放射方向。

2. 飛行中の注視対象の推移に関する研究[2]

つづいて、本研究では、コウモリの飛行中の注意対象の推移について検討しました。行動中の動物が注意を向けている対象の解明は、その個体の行動中の“考え”

を推察可能とする重要な情報です。対象とした種は、ドップラーシフト補償行動を行うキクガシラコウモリです。コウモリは飛行しながらパルスを放射し、エコーを聴取するため、パルスの周波数が一定の場合、エコーの周波数はドップラー効果の影響を受け変化します。ドップラーシフト補償行動とは、聴覚感度の高い周波数帯域にエコーの周波数を合わせるために、パルスの周波数を調整する行動です。そのため、聴覚感度の高い周波数帯のエコーの対象物が明らかとなれば、コウモリはその対象物に注意を向けていることが判明することになります。

我々は、音響シミュレーションの音源・受信点を移動音源・移動受信点として実装し、ドップラー効果の影響を受けたエコーの算出を可能とする音響シミュレーションを開発しました。まずこのシミュレーションの有用性の確認のために、飛行室内の前方の壁に向かって直線飛行する際のコウモリの背中に設置したテレメトリマイクロホンで、パルスを計測しました。そのパルスを音響シミュレーションの音源とし、コウモリの飛行軌跡で音源を移動させた際のエコーを算出しました。前方の壁のみからパルスが反射するように設定し、エコーを算出しました。テレメトリマイクロホンで計測できた前方からのエコーの周波数と、音響シミュレーションで算出した前方の壁からのエコーの周波数は良い一致を示し、本シミュレーションの有用性が確認できました。

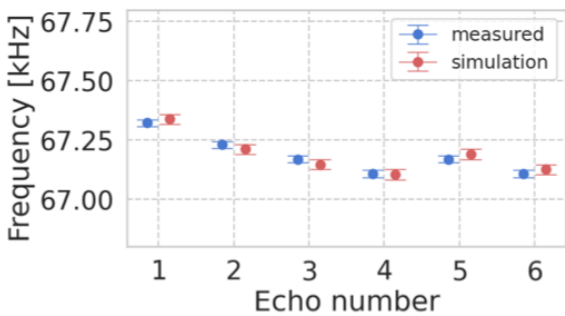


図 2. コウモリが前方の壁に直線飛行した際の、コウモリの背中に設置したテレメトリマイクロホンで計測した前方の壁からのエコーの周波数（青）と、同じパルスを使用しシミュレーションで算出したエコーの周波数（赤）。エラーバーは、周波数分解能を表している。

そこで次に 4 つの壁に囲まれた空間を、コウモリが巡回飛行する行動データを計測し、各壁それぞれからのみパルスが反射するように計 4 試行のシミュレーションを行い各壁からのエコーを算出しました。その結果、各コウモリの聴覚感度の高い帯域には同時に複数のエコーが入ることはなく、巡回先を先読みしながらスムーズな注意対象の推移が見られました。

実空間で計測したデータ（飛行軌跡やパルス情報）

をバーチャル空間に導入し、エコーを復元する手法によりコウモリへの入力情報であるエコーと出力情報である飛行軌跡、パルスの同時取得が可能となりました。今後は、この入出力関係からコウモリの考えていることをモデル化できないかと探っていく予定です。

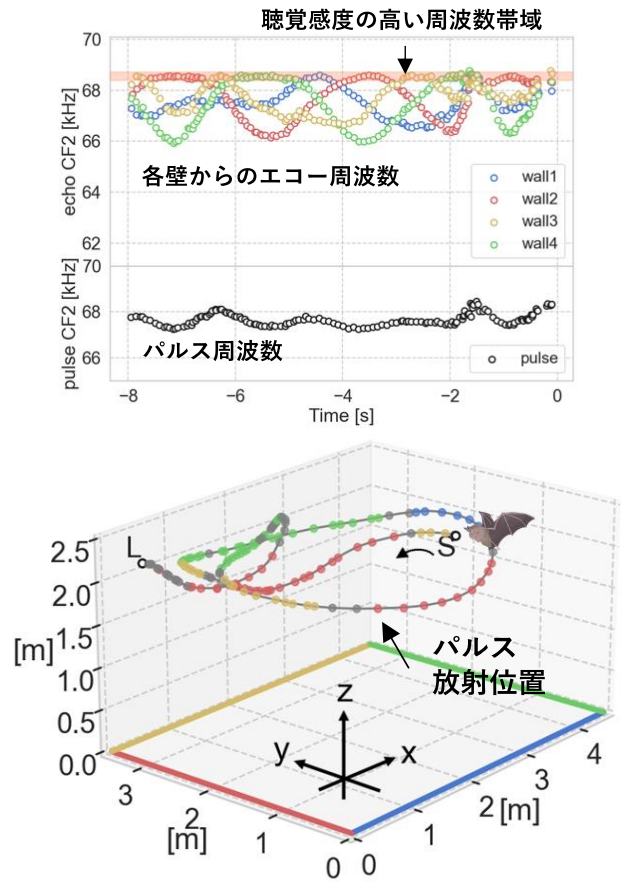


図 3. (上) コウモリが 4 つの壁で囲まれた空間を飛行した際のパルスの周波数（黒）とシミュレーションで算出した各壁（wall1 - wall4）からのエコーの周波数. (下) 算出した各壁からのエコーの中で、コウモリの聴覚感度の高い周波数帯域に分布しているエコーの発生した壁の色でパルス位置を表している。

文献情報

[1] Y. Teshima, Y. Yasufumi, T. Tsuchiya, H. Olga and S. Hiryu. "Analysis of echolocation behavior of bats in "echo space" using acoustic simulation." *BMC biology* 20, no. 1 (2022): 1-12. doi: [10.1186/s12915-022-01253-y](https://doi.org/10.1186/s12915-022-01253-y)

[2] Y. Teshima Yu, Y. Hasegawa, T. Tsuchiya Takao, Moriyama Ryota, Genda Shoko, Kawamura Taku and Hiryu Shizuko. "Reconstruction of echoes reaching bats in flight from arbitrary targets by acoustic simulation." *The Journal of the Acoustical Society of America*, 151(3), (2022): 2127-2134. doi: [10.1121/10.0009916](https://doi.org/10.1121/10.0009916)

調査報告

バイオリギングで見るオリオオコウモリの行動生態

野見亮人（同志社大学大学院 生命医学研究科 脳神経行動工学研究室）



1. はじめに

皆さんはオリオオコウモリ(学名: *Pteropus dasymallus inopinatus*)をご存知でしょうか。

沖縄本島に生息するクビワオオコウモリの固有亜種であり、日本に生息するコウモリの中でも最大級の大きさを誇ります(図1)。

本州で最もポピュラーなアブラコウモリは体重が10g前後、翼を広げた長さ(翼幅)が20cmなのに対して、オオコウモリは体重が500g、翼幅が1m越え、その大きさは桁違いです。前に突き出した鼻、くりっとした愛らしい目を持つため英語では flying fox の愛称で呼ばれています。

オオコウモリは果実、蜜、花を主食としています。大型の種子散布者が少ない沖縄において、オオコウモリは果実散布者・送粉者を担っており、植物の多様性を維持する重要な役割を果たしています^[1]。

そこで私たちはバイオリギングの手法を用いることで、琉球大学に訪れるオオコウモリの成熟度・季節による行動範囲の違いについて調査を行っています(図2)。本記事ではオオコウモリ調査の魅力や苦労についてお話しさせていただきます。



図1. 夜間に琉球大学を訪れるオリオオコウモリ
【東京大学 福井大先生 提供】

2. どうやって捕獲する？

オオコウモリ調査で最も苦労することは、装着するにあたっての捕獲作業です。オオコウモリは一部の鳥類と同じように、ペリットを採餌木の近くで吐き出します(図3)。採餌木は季節によって変わるため、調査は広大な敷地面積を誇る琉球大学構内を歩き回り、餌場を探索することから始まります。捕獲場所を決めると次はいよいよ捕獲です。夕暮れ時の行動を開始するタイミングを狙います。ここで登場するのが秘密兵器

「ムービング霞」です。初めて琉球大学構内で調査する際は、霞網を装着した高さ6mほどの2本の釣り竿を地面に設置することで捕獲を試みましたが、オオコウモリは非常に目がいいため簡単によけられてしまいました。そこで私たちは二人がかりでバレーボールのネットのように釣り竿を持ち、自らコウモリを追いかける「ムービング霞」を編み出し、これまでの調査で30匹以上の捕獲に成功しました。装着するロガーはLotek社のPin-PointロガーでGPSによる位置座標や高度を記録することができ、VHFで遠隔でデータを吸い出すことができます。



図2. ロガーを装着したオオコウモリ

ここからが第二の関門、データ回収です。データの吸出しはコウモリがねぐらにいる昼間と活動する夜間両方で行います。琉球大学構内中心にかかる大きな橋の上からデータの回収は始まります。大学敷地内にいる距離の近いコウモリはデータの回収が可能です。構外のコウモリのデータ回収は一筋縄ではいきません。発信される電波の方向を受信機から聞こえる微妙な音の変化から推測し、車で移動しながらデータが回収できる距離まで近づきます(図4)。日差しが最も強くなる昼間の調査は暑さとの戦いです。ほとんどの個体がねぐらを毎日変えるため、データの発信時間2時間のうちに全個体のデータを回収することは非常に難しいです。それでも回収したデータを見ることができた瞬間の喜びは何物にも代えがたいです。



図3. オオコウモリのペリット

の個体は琉球大学から直線で31km離れた場所を一晚で往復していることが分かりました。

琉球大学周辺は餌場が多いため、採餌以外に理由があったと考えられます。移動先で何をしているのかという点にも注目して調査を進めていく予定です。

4. 調査後の楽しみ

沖縄調査での一番の楽しみはやはりおいしい沖縄料理です。特に私は沖縄そばに目がなく、調査に行くたびに新たな店舗開拓に動んでいます(図6)。



図4. データ回収の様子

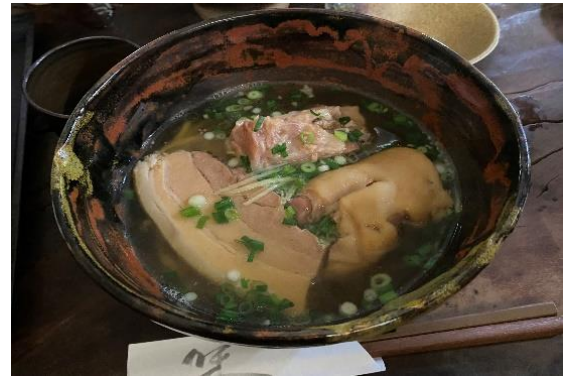


図6. 一押しのソーキそば

3. どこに、何しに行ってる？

今回は回収した興味深いデータ深い個体について紹介させていただきます。図5は成獣個体の一晚の移動経路を示しています。ほとんどの個体が捕獲をした琉球大学周辺(図5地図中星印)で行動するのに対し、こ

文献情報

中本敦(2005),” 沖縄島におけるオリイオオコウモリの種子散布者としての役割の評価”, 日本生態学会大会講演要旨集, 第52回日本生態学会大会 大阪大会

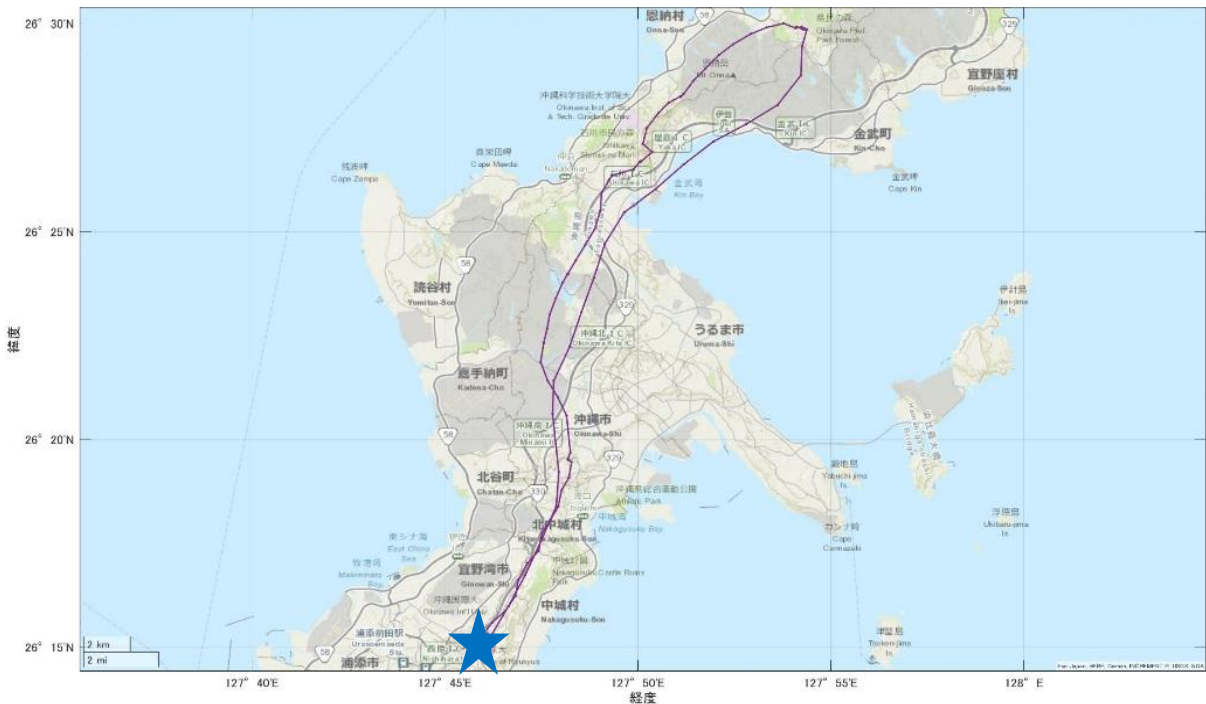


図5. 成獣個体の一晚の移動軌跡(★:琉球大学)

調査報告

バイオリギング初心者によるカメ行動実験を終えて

藤井紀帆（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）

今年度、以前から気になっていたバイオリギングを、実践を通じて学ぶ機会をいただきました。本報告では、実施した研究と合わせて、バイオリギング初心者から見たバイオリギングの面白さや、調査の雰囲気、この経験から得た発見についてお伝えできればと考えております。

私は普段、野生コウモリの採餌時の音声を計測し、その音声データから彼らの採餌行動を解析するような研究をしています。その中で、餌場という限られた空間だけでなく、広い空間で長い時間をかけて動物の行動を追うことができるバイオリギングに興味を持つようになりました。そこで今回、神戸大学海洋環境動物学研究室（以後岩田研）の岩田高志先生のご指導のもと、バイオリギングについて勉強させていただく機会をいただきました。

今回行った実験では、ミシシippアカミミガメ (*Trachemys scripta elegans*) (図 1) を対象動物としました。野外の川の中でも彼らの行動をデータロガーで正確に記録できるかを検証することを目的に、いけすの中で行動するカメをデータロガーと映像で記録・解析しました。

データロガー

データロガー (図 2a) は重さ 4.5 g, 大きさが 24×14×7 mm でした。加速度データや水温、水深などの時系列変化を記録することが可能です。加速度は 3 軸方向で計測することができます (図 2b)。岩田研では、このロガーと発信機 (17g, 30×20×15mm) を併用し、野生のアカミミガメやクサガメやイシガメの河川での行動範囲を調査する研究が行われています。今回の研究では上記の先行研究を参考に、カメの甲羅の左後ろにロガーを、右後ろに発信機を装着しました。

これらの機器は、ドリルで甲羅に小さな穴を開け、そこに結束バンドを通し装着します。穴は縁甲板と呼ばれる甲羅の外側を縁取る部分に開けます。この部分には毛細血管しか通っておらず、穴をあけてもカメはあまり痛くないそうです。余談なのですが、カメの甲羅には一つ一つに名称があり、カメ研究をされる方たちには甲羅に目印を入れて個体識別するそうです。装着という作業だけで、カメがユニークな生き物であること、彼らの研究方法もユニークであることを知りとても面白かったです。

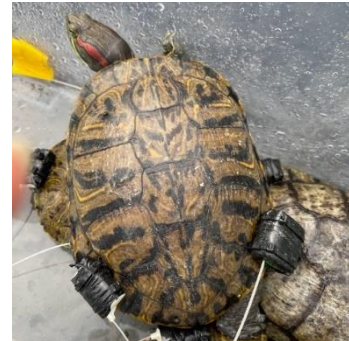


図 1. ミシシippアカミミガメ

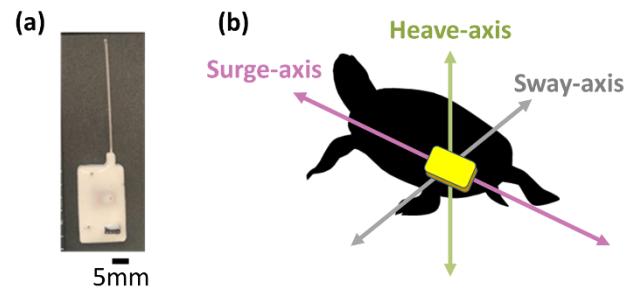


図 2. (a) 使用したデータロガー、(b) データロガーの設置位置と加速度センサが感知する 3 軸。



図 3. 河川での行動実験の様子

実験方法・調査の様子

2022 年 8 月 28 日、兵庫県神戸市西区を流れる明石川にて実験を実施しました。河川に四方 1.75 m のいけすを作成し、その中でのカメの行動をデータロガーとビデオを用い計測しました (図 3)。実験では 3 個体のミシシippアカミミガメを用いました。いずれも明石川で捕獲されたのち岩田研で 6 か月以上飼育された個体です。それぞれの実験直前の体重は 1303 g, 677 g, 277 g でした。

実験において岩田研の修士 1 年の大谷健太郎君から学ぶことは多くありました。私は実験当日までに彼の川調査に何回か同行し、実験場所や実験系について相談に乗ってもらっていました。その事前調査の中で彼の知識量には毎回驚かされました。彼は本だけでなく何度もフィールドワークを行うことで得られる知識や勘をたくさん持っており、その知識を活かし次々とカメを捕獲する姿は圧巻でした。私もコツを教えてもらいながら捕獲を試みたのですが、川底の石は全部カメに見えるし、カメたちはみんな石に見えました。残念ながら私はカメを自分の力では捕獲できませんでしたが、実験動物の生息地にて彼らの性質を肌感覚で知ることは、彼らにとって最適な実験環境を構築する上で最も重要なことなのだと気づかされました。

加速度データ解析・実験結果

本研究では、カメが水中で移動する際の水かき周期（1 秒間にカメのいずれか 1 本の足が水を何回かくか）と加速度推移パターンに注目し映像・加速度データ解析を行いました。加速度データの処理方法は以下の通りです。まず図 2 で示した 3 軸のうち、最も加速度の増減が大きい軸を選び、その軸に任意のローパスフィルタをかけ、動き成分と姿勢成分を分離しました（図 4a）。これらの成分と Ethographer（IGOR PRO で算出）で、ビデオで記録したカメの動きと比較しながら水中での行動周期を算出しました（図 4b）。

解析の結果、水中で移動する際の水かき周期は、泳いでいるときも川底に足をつけて歩いているときもほぼ同じであることが分かりました。また体サイズにより水かき周期が変化するような傾向が見られました。

この解析で私は初めて自分で一から信号処理用のプログラムを作りました。信号処理の原理は理解していましたが、自分でプログラムを作ることでさらに理解を深めることができましたと考えています。また加速度データは音響信号とは全くの別物だと考えていたのですが、実際に手を動かし信号処理をすることで、類似点や音響信号処理に活かせるような解析方法を数多く見つけることができました。今後の研究に生きる貴重な経験を積ませていただきました。

岩田研の愉快的仲間たち

面白かった経験は実験だけではありません。カメよりもユニークな岩田研の皆さんとの思い出も、大切なものになりました。岩田研は同じ研究室内でも多種多様な研究テーマをもつ人たちが構成されています。例えば淡水ガメのバイオロギングや、スナメリの音声・食性解析、バショウカジキの動画解析、サンショウウオのバイオロギングなどの研究が行われています。何回かゼミにお邪魔させてもらったのですが、各メンバ

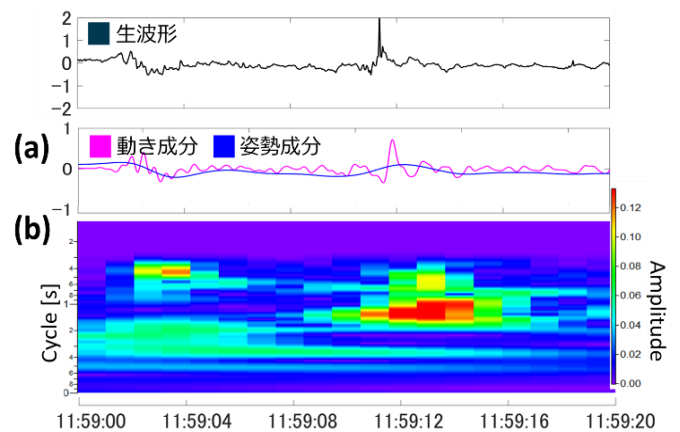


図 4. (a) 加速度のローデータから抽出した 2 成分と (b) Ethograph をもとに水かき周期を算出した



図 5. 岩田研メンバーと食べたラーメン

ーが全く違う手法で違う動物を対象に研究を行っているからこそ生まれるアイデアが飛び交いととても面白かったです。私の岩田研での一番印象深い思い出は、初めて研究室メンバーとお会いした時です。初対面したゼミの後、お互いの自己紹介もそぞろに「お昼研究室でご飯作るので買い出し行きましょう」と突然誘われ、買い出しに行きました（笑）。買い出し中もみんな気さくに声をかけてくれて楽しかったです。このエピソードが岩田研の雰囲気をよく表していると思います。研究室なのにやたら調味料が揃っていたり、昼休みになるとみんなサッカーをしに外に飛び出して行ったり、立派なラジコンが学生机のど真ん中に置いたり…。面白いことや楽しいことを研究室や大学の垣根を超えてみんなで共有し、毎日ワイワイしているととても居心地のいい研究室でした（図 5）。

最後に、今回このように貴重な学びの場を与えてくださりお忙しい中丁寧にご指導くださった神戸大学の岩田先生、大谷君、そして他大学にも関わらず私を受け入れ励ましてくれた岩田研の皆さんのおかげで学びの多い充実した調査を行うことができました。この場をお借りして心よりお礼申し上げます。この貴重な学びを活かし今後も研究に励んでまいります。

研究紹介

クマは何を見ている？

小池伸介（東京農工大学大学院 グローバルイノベーション研究院 森林生物保全学研究室）



はじめに

「クマ」と聞いてほとんどの日本人にはその姿が思い浮かぶように、クマは誰もが知っている有名な動物です。日本には2種類のクマ、北海道にヒグマ、本州と四国にツキノワグマ（以下のクマは、ツキノワグマを示します）が息しています。一方で、クマが自然の中でどのように生活を送っているのかはよく分かっていません。それは、野生のクマは深い森の中で、群れることなく単独で生活しているため、生態研究が困難なためです。しかし、この20年ほどのさまざまなバイオロギング技術の発展に伴い、クマの自然の中での暮らしが少しずつ明らかになってきました。今回は様々なバイオロギング技術の中でも、私たちの研究グループが過去10年間にわたって行ってきた、ビデオカメラを内蔵した首輪型GPS受信機（以下、カメラ首輪）を用いた研究事例を紹介します。

カメラ首輪 1号機

私たちが初めてクマにカメラ首輪を装着したのは2014年でした。6月13日に東京都奥多摩山地で捕獲した85kgのオスにカメラ首輪を装着し、放獣しました。しかし、当初予定していたカメラ首輪の回収日までわずかと迫った装着から40日後に、突如としてクマが行方不明になってしまいました。その後、セスナを使うなどの懸命な捜索にもかかわらず、カメラ首輪1号機はとうとう発見することが出来ませんでした。ところが、2年後の2016年12月に放獣場所から直線で約7km離れた場所で、シカの調査を行っていた調査員が山中に落ちているカメラ首輪を偶然拾い、連絡をくれるという奇跡が起きたのです。何らかの理由でクマの首からカメラ首輪は抜け落ちてしまったようです。カメラ首輪の外見は奇麗で、大きな損傷もありませんでした。早速、メーカーに首輪を送り返したところ、無事に記録された測位情報や映像を回収することができました。約22時間の映像からは、今見ると画像の粗さが気になりますが、クマ目線で森の中を動き回り、木に登り果実を食べるといった光景が繰り広げられ、衝撃そのものでした。
<https://www.asahi.com/articles/ASKBN6V9KKBNU1BJ00N.html>。その後、2017年にもこの機材を用いて撮影に成功したことから、私たちはカメラ首輪を用いた生態研究の展開の可能性を強く確信し、次のステップに移りました。

カメラ首輪を使った研究の発展

2018年には新たな機材を用いて、本格的にカメラ首輪を用いた研究が始まりました。新しい機材は約700グラムで、画質もハイビジョン（1280×720 pixel）になりましたが、逆に撮影時間は少し短く17時間ほどになりました。2018年の6月に成獣のオス2頭、メス2頭の計4頭に、同時にカメラ首輪を装着することが出来ました。カメラ首輪は日中に15分間隔で10秒間の映像が撮影されるように設定し（1日あたり52映像を撮影）、一定期間後にクマの首から脱落するように設定しました。そして、約40日間にわたる撮影を終え、今回は無事に全てのカメラ首輪を回収することが出来ました。ここでは、これらの4頭が映し出した採食行動と繁殖行動に関する成果を報告します。

採食行動に関する研究

動物にとって採食は生活の中で最も重要な行動の一つです。直接観察することが難しい動物の食生活を探る手法として、陸棲の哺乳類ではこれまでは糞の内容物を分析する糞分析法が一般的でした。しかし、糞の内容物からは、消化されやすい食べ物や咀嚼により破壊されやすい食べ物を特定することが難しいという欠点があります。そこで、私たちは、カメラ首輪を用いることでクマの未知の採食行動を明らかにすることを目指しました[1]。

映像から「採食行動」の映像を抽出し、クマの食べ物を記録と映像数を記録しました。また、クマが撮影を行っているのと同じ期間に、私たちはクマが滞在した場所の周辺でクマの糞を採取し、従来の糞分析法により食べ物を記録し、映像の解析結果と比較を行いました。

その結果、4頭分の映像からは30種類以上の食べ物を特定することができ（<https://youtu.be/YdXqQqIlyfi>）、植物の葉や花、果実の多くは種類や属まで特定することができました。また、哺乳類を採食する映像では、二ホンジカの子どもや二ホンカモシカの成獣を採食していることが確認できました。しかし、落ち葉の中に口を突っ込み、何かを食べていることは分かるものの、食べ物の種類まで特定することができない映像も存在しました。一方、従来の糞分析法では102個の糞を分析し15種類前後の食べ物を特定できましたが、植物の葉や花は糞の中では、咀嚼や消化過程によって原形をとどめておらず、食べ物の種類までは特定することが出来ませんでした。また、哺乳類も糞の中からは体毛しか

確認できず、種類までは特定することはできませんでした。

さらに、映像を解析して個体ごとの食生活を比較すると、個体によって食生活が異なることが明らかになりました（図1）。

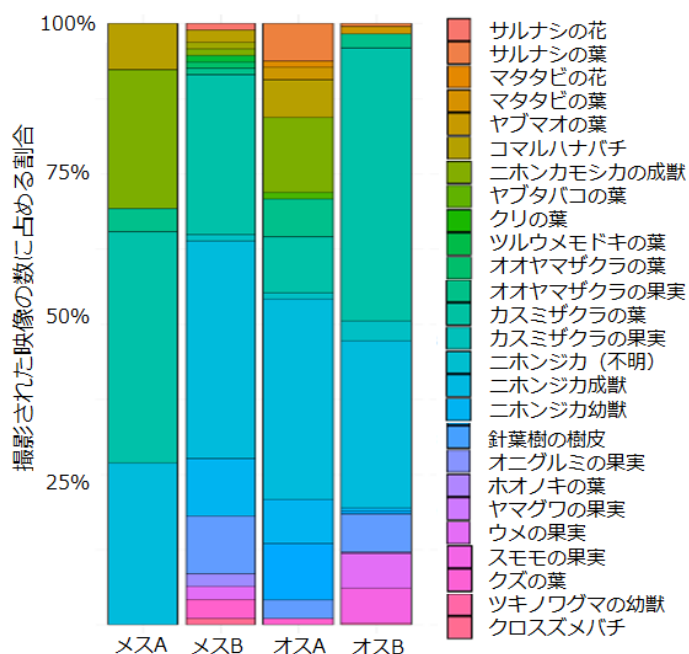


図1. 4頭が装着したカメラ首輪に撮影された食べ物とそれぞれの食べ物占める割合 (%)。

繁殖行動に関する研究

動物にとって繁殖は最も重要なライフイベントの一つです。しかし、前述の採食行動と同じく、直接観察が難しい種では繁殖行動の詳細はほとんど分かっていません。クマも野生下の繁殖に関する情報は謎に包まれていました。そこで、私たちは、採食行動に続き、カメラ首輪を用いることでクマの繁殖行動をとらえることを目指しました[2]。

その結果、撮影期間の平均 4 割以上の日で、本来は単独性のクマが他のクマと一緒に行動し、いずれのクマも異性と一緒に行動する様子が確認されました。そして、オスのなかには複数のメスと交尾をしていたクマもいたことから、クマが一夫多妻制であることが映像からも確認されました。さらに、メスを巡ると考えられるオス同士の闘争など、これまで詳しくは分かっていなかったクマの繁殖行動を多数撮影することに成功しました (<https://youtu.be/W4opU6KhPjY>)。

また、クマは「他のクマと一緒に行動した日」と「単独で行動した日」で、1日の中の様々な行動配分を変えていることが明らかになりました。いずれのクマも「単独で行動した日」に比べて、「他のクマと一緒に行動した日」は、繁殖行動に費やす時間を増やすために、食事に費やす時間を減らしていました（図2）。

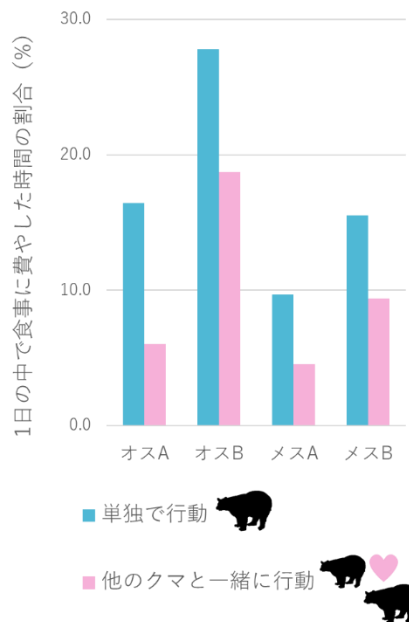


図2. 1日の行動の中で食事に費やした時間の割合 (%)

おわりに

2018年以降、私たちは現在に至るまで合計12頭のクマにカメラ首輪を装着してきました。これらの映像からの発見はこれから論文になっていく予定ですが、間違いなくカメラ首輪は、これまでのクマの常識をひっくり返す可能性を秘めた道具です。また、現時点では、撮影された映像から得られる情報だけを対象にしていますが、今後は画像解析や機械学習の研究者との協力により、多くの未知な生態を解き明かしていきたいです。ぜひ、ご興味のある方はご連絡ください。

また、カメラ首輪は様々な野生動物の保全や管理の一助となることも期待されます。たとえば、人間活動との軋轢が発生するような種では、人里近くでの行動の把握や人間活動に対する反応を詳細に理解できるようになり、未然に被害の発生を防ぐための対策につなげることが出来るかもしれません。

文献情報

- [1] Tezuka S, Tanaka M, Naganuma T, Tochigi K, Inagaki A, Myojo H, Yamazaki K, Allen M, Koike S (in press) Comparing information derived on food habits of a terrestrial carnivore between animal-borne video systems and fecal analyses methods. *Journal of Mammalogy*. 90.
- [2] Naganuma T, Tanaka M, Teduka S, Steyaert S, Tochigi K, Inagaki A, Myojo H, Yamazaki K, Koike S (2021) Animal-borne video systems provide insight into the reproductive behavior of the Asian black bear. *Ecology and Evolution* 11:9181-91

研究紹介

ドローンが明らかにするウマの重層社会

山本真也（京都大学 高等研究院）・前田玉青（京都大学 野生動物研究センター）

ウマの社会とヒト社会には意外な共通点があります。どちらも、動物界では珍しい重層社会を築いているのです。

複数の集団が集まり、さらに高次の社会を形成するのが重層社会の特徴です。ヒトでは、家族が集団の最小単位となり、家族がいくつか集まって集落や村、さらには県や国といった単位で集団がまとまっています。ヒトの社会性・集団性を考えるとき、この重層社会が非常におもしろいのは、集団の内と外の境界が柔軟に変化するからです。たとえば、学校を例に見てみましょう。運動会などでクラス対抗戦があると、クラスの仲間と協力してクラス間で競い合います。それが学年対抗戦になると、これまで競っていた同じ学年のクラス同士が協力して学年間の競合となります。さらに学校対抗戦になると、学校全体が一丸となって他校と競い合います。協力する単位が時と場合で変化するのです。隣のクラスの子は、クラス単位でみると「集団外」ですが、学年単位でみると「集団内」になります。これがヒトの社会の複雑性のひとつの要因です。

このような社会の重層性は、ヒヒなどの少数の霊長類種やアフリカゾウ・マッコウクジラなどごく限られた動物種でしか知られていませんでしたが、ドローンを用いた私たちの研究から野生ウマ社会にもみられることがわかってきました[1]。動物の集団性に関するこれまでの研究の多くは、匿名性の高い鳥や魚の「烏合の衆」を対象にされてきました。あくまで単層社会における群れ内の個体間インタラクションの研究です。重層社会における群れ内・群れ間の階層的インタラクションを定量的に調べる道筋を切り拓いた点で、意義のある研究だと考えています。

個体識別&ドローン

私たちが調査したポルトガルのアルガ山には、200頭近くのウマが30ほどの群れに分かれて暮らしています（図1）。ウマの社会はハーレム群（1-2頭のオスと複数のメスおよびその子どもから成る群）・パチエラ一群（オスだけの群）・単独オスからなることが知られています。私たちは、まず、その全個体を個体識別しました。顔や脚について白い模様や体色などから識別していきます。この点も、これまでの鳥や魚の研究との大きな違いです。個体識別をすることにより、社会ネットワークの変化を長期にわたって追うことができますようになりました。

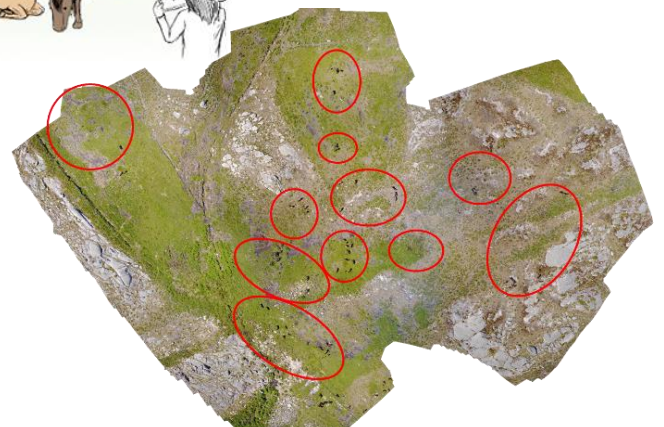


図1. 複数の群れが集まり、重層社会を作っている野生のウマ。（ポルトガル・アルガ山にて山本真也撮影）

次に、ドローンを使って、個体の配置を上空から観察しました。重層社会で定量的なデータを得づらい原因のひとつとして、集団が巨大になるため、一度に集団全体を観察するのが難しいという点が挙げられます。しかし、ドローンを使えば、空からウマの集団を観察し、広範囲に広がる集団の全体像を記録することができます。とは言え、1kmほどのフィールドに広がる集団全体を1枚のドローン映像で捉えるのは困難です。そこで、私たちは、フィールドをスキャンするようにドローンを飛ばし、連続写真を合成してオルソ図（連続撮影した空中写真を位置ズレのない画像に変換したもの）を作成するという手法を独自に編み出しました（図2）。このオルソ図は、これまで植生調査などに使われてきた手法です。それを、生きた動物の社会調査に応用した例は、これが初めてではないかと思います。



図2. （左）ドローンを飛ばし、集団全体の連続写真を撮影。（前田玉青作画）（下）この連続写真を合成して作成したオルソ図。ゴマ粒のように見えるのがウマ。赤丸囲いが群れ。（作成協力：越智咲穂）



ウマの重層社会の特徴

オルソ図には、すべてのピクセルに GPS 情報が付与されており、写っているすべての個体の正確な位置データを取得することができます。そこから、すべての個体間距離を正確に計測しました。分析の結果、群れ内では個体間距離が平均 6.9m であることがわかりました。それに対し、違う群れの個体との距離は平均 170.5m あり、最も近い群れでも平均 39.3m の距離がありました。15.5m を境に群れ内個体間距離と群れ間個体間距離に大きく分けられることがわかりました。距離は保ちつつも、群れどうし、とくにハーレム群どうしは避け合っているわけではなく、フィールドの一定区域に集まりながらともに移動していることもわかりました。

さらにネットワーク解析をした結果、群れ間にはいわゆる“仲良しな”関係とそうでない関係がある可能性が示唆されました。集団全体の空間構造を見ると、集団の中心付近に大きいハーレム群が位置し、小さいハーレム群やバチエラー群は集団の周辺部にいることがわかりました。これらの結果をまとめると、ウマの集団は小さな群れが複数集まってできあがり、かつ群れ間に一定の関係性や構造がみられる、つまり重層構造をもっていることとなります。個体レベルでは、高順位個体ほど群れの中心にいるという法則があるので、ハーレム群どうしにも順位序列関係があり、それは群れサイズと相関関係にある可能性があります。また、近縁のサバンナシマウマなど一部の種では、バチエラーによる子殺しやハーレムの乗っ取りがみられ、それを効率的に防ぐためにハーレム群同士が集結して重層社会を作るようになったという「バチエラー脅威仮説」が提唱されています。ウマの高次の集団でも、バチエ

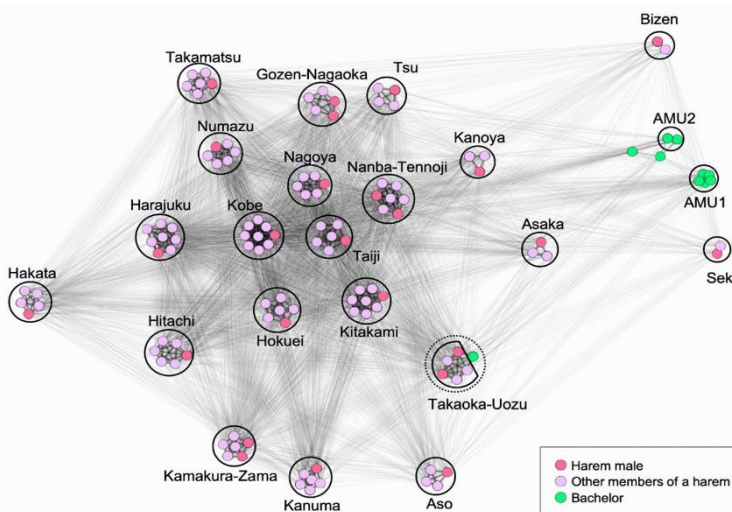


図 3. 正確な個体間距離を基にした社会ネットワーク図。濃ピンクの丸がハーレム群のオス、薄ピンクの丸がハーレム群のメスと 1-3 歳の若い個体、緑の丸がバチエラー群あるいは単独のオス。黒丸の囲いが群れ。群れ内だけでなく群れ間にもネットワーク構造がみられ、ハーレム群どうしがまとまって高次の集団を築いている。

ラー群が一番外側に位置しているという結果から、バチエラーの効率的な排除という機能がある可能性が示唆されました。

将来展望

本研究によって、ポルトガル・アルガ山に暮らす野生化ウマは、基本単位となる群れとそれらが集まった高次集団、2つの階層を持つ重層社会を形成していることが示されました。このような個体間距離を用いた定量的分析はさまざまな動物種にも応用可能な手法です。本研究で確立した手法は、重層社会の種を超えた共通の定義づけや、種間・個体群間比較を進める上で非常に有用であり、重要な成果といえます。重層社会の空間構造を捉えた研究は非常に少なく、時系列比較や種間比較などを通して、重層社会の進化や機能のさらなる考察の発展が期待されます。

また、ドローンでの観察手法は、重層社会にとどまらず、動物社会の研究に広く貢献できると考えています。近年、ドローンを利用した動物の群れの研究は非常に盛んですが、個体識別までおこなった例は少なく、主に集団行動を対象とした個体情報の要らない短期の観察に用いられることがほとんどでした。本研究では、大規模な群れの個体識別を行い、「中・長期的な動物の社会関係の観察」というドローンの新たな利用方法を示しました。

今後は、群れ内および群れ間でのインタラクションを調べていく必要があります。私たちの研究からは、複数のハーレム群が空間的に集まっているだけでなく、群れ間で行動を同期させていることもわかってきています[2]。重層社会における集団行動・集団意思決定メカニズムの一端が明らかになってきました。生態学的な研究から認知科学的側面まで、幅広い視野に立って重層社会で繰り広げられる複雑な社会性を明らかにしていきたいと考えています。

文献情報

- [1] Maeda, T., Ochi, S., Ringhofer, M., Sosa, S., Sueur, C., Hirata, S., & Yamamoto, S. (2021a). Aerial drone observations identified a multilevel society in feral horses. *Scientific reports*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79790-1>
- [2] Maeda, T., Sueur, C., Hirata, S., & Yamamoto, S. (2021b). Behavioural synchronization in a multilevel society of feral horses. *PLoS one*, 16(10), e0258944. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258944>

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（ポスドクも含まれます）

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

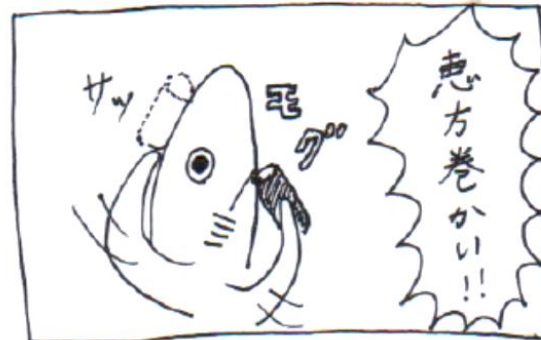
(BioLoggingScience@gmail.com) まで

メールアドレスが変わりました

編集後記

昨年自分で書いた編集後記を読み返すと、“何をすることもまずコロナのことを考えて行動する日常に、だいぶ疲れも溜まってきました。。”とありました。1年前と比べると、今は対面での学会も再開され、海外にも渡航できるようになり、そして緊急事態宣言というドキドキする言葉も聞かなくなりました。コロナ前の日常が戻ってきた感じがずいぶんとします。そして在宅勤務が堂々としてできる環境がさらに整ったことも、本当にありがたいことでした。ただ一方で、今年も卒業式のあとのゼミでの懇親会は見送りとなり、一度も、ゼミの全員が顔を合わせることがないまま卒業式をむかえることになりそうです。。寂しいですが仕方ありません。でも来年の今頃は、さらに元通りの生活になっているはず！そして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】

3月27日(月) 10:00~12:00にZoomで総会を開催予定です。皆さま奮ってご参加ください。【Y.M】



【S.K】