

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：34310

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K16237

研究課題名(和文)音響GPSバイオリギングによるコウモリの大規模採餌生態の解明

研究課題名(英文)Elucidation of the Foraging Ecology of Echolocating Bats by the Acoustical GPS Bio-logging

研究代表者

藤岡 慧明(Fujioka, Emyo)

同志社大学・研究開発推進機構・准教授

研究者番号：00722266

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模空間におけるコウモリの採餌にまつわる行動生態を明らかにするため、企業と共同開発した音響GPSデータロガーをコウモリに装着するとともに音響定点観測も行うことで、超音波利用と移動行動生態の詳細について調べた。回収されたロガーデータから、キクガシラコウモリがおよそ1-2分間隔で獲物捕食を行っていること、ヤマコウモリが対地高度200 m以上の高度で採餌していることが初めて明らかとなった。また、超音波の定点録音によって捕食行動に伴う超音波利用の詳細も得られてきていることから、今後のデータ蓄積によりさらに詳細な分析が可能になり、コウモリの採餌行動生態の理解が大きく進むことが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2016年のパリ協定の発効に伴い、日本政府が風力発電の積極的な導入計画を掲げた一方で、小コウモリ類が風車に衝突して死亡するケースが多発している。本研究で得られた成果は、これまで全く不明であったコウモリの日々の採餌のための移動生態の一部を超音波利用とともに明らかにしたものである。今後、本研究によって構築したノウハウによりデータを蓄積することができれば、コウモリ類の風車衝突を減らすための生態学的知見が得られることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to clarify the behavioral ecology related to foraging of echolocating bats in large spatially scale, we examined the details of ultrasonic utilization and movement ecology by mounting an acoustic GPS data-logger developed in cooperation with a company to bats and also performing acoustic fixed-point observation. We found for the first time that the greater horseshoe bat (*Rhinolophus ferrumequinum nippon*) capture prey at 1-2 min intervals and that the birdlike noctule (*Nyctalus aviator*) foraged at altitudes above 200 m AGL. And, since the detail of the ultrasonic wave utilization with the predation behavior has also been obtained by the fixed-point recording of ultrasonic wave, further detailed analysis becomes possible by future data storage, and it is expected that the understanding behavioral ecology of foraging bats greatly advances.

研究分野：生物音響学 行動生態学

キーワード：バイオリギング GPS 超音波 コウモリ 採餌 移動生態

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2016年のパリ協定の発効に伴い、日本政府が風力発電の積極的な導入計画を掲げた一方で、小コウモリ類が風車に衝突して死亡するケースが多発している。風車設置に伴うコウモリへの影響を緩和させるには、彼らの生息地の情報に加えて、日々の移動経路や採餌場所の利用の実態を総合的に理解することが望まれる。その一方で、野外におけるコウモリの採餌や移動およびその際の超音波利用に関する生態には未だ不明な点が多い。その理由として、調査の難易度の高さ(夜行性、行動範囲の広さ等)が挙げられる。

2. 研究の目的

動物に直接機器を装着して移動軌跡や映像などのデータを得る「バイオリギング」と呼ばれる手法が注目されており、近年ではコウモリに搭載できるほど小型化され、コウモリの野外研究への応用に向けた基盤が整いつつある。そこで本研究では、大規模空間におけるコウモリの採餌にまつわる行動生態を、音響 GPS バイオリギングに基づいて明らかにすることを目的とする。我々がこれまでに企業と共同で開発した音響 GPS データロガー (ArumoTech, Japan) によって、採餌スタイルの異なる2種類(キクガシラコウモリ、ヤマコウモリ)について、獲物捕食直前に高頻度で放射される Feeding Buzz^[1]を検出することによって、いつ・どこで・どれくらい採餌しているかを調べた。さらに、GPS データから得られたコウモリの採餌場所および移動経路上にて超音波を定点計測することによって、彼らの採餌飛行時の超音波利用について調べた。

3. 研究の方法

(1) キクガシラコウモリ

キクガシラコウモリ (*Rhinolophus ferrumequinum*) は、木々や植物の生い茂った、エコー音響が複雑な環境(クラッター環境)にて獲物を探索し捕食する(Cluttered-space forager)。その際、木の枝に懸下しながら飛翔昆虫を探索し、獲物捕食後に元の場所に戻って採餌する(Perch hunting)。コウモリの捕獲およびロガー装着は福井県大野市の廃トンネルにて行い、再捕獲によりデータ回収を行った。また、過去に回収された GPS ロガーデータ^[2]から、ねぐら付近の山中のコウモリの軌跡上に超音波録音機(Anabat Swift, Titley Scientific, Australia)を設置し、採餌中のコウモリの音声の録音を試みた。

(2) ヤマコウモリ

ヤマコウモリ (*Nyctalus aviator*) は、開けた空間で採餌飛行を行い、飛翔昆虫を捕食している(Open-space forager)。コウモリの捕獲およびロガーの装着は、北海道旭川市にてコウモリがねぐらとしている樹洞付近にてかすみ網を用いて行い、再捕獲によってデータ回収を行った。また、旭川市内における別のねぐら付近にてマイクロホンアレイを設置し、採餌中のコウモリの音声の定点計測を試みた。

4. 研究成果

(1) キクガシラコウモリ

2021年度までに、5個の音響 GPS ロガーデータを回収することに成功した。これまでに回収できている13個のGPSロガーデータ^[2]と統合すると、彼らの行動圏はねぐらから約4kmであることが分かった。回収に成功した音響ロガーのデータを図1に示す。音響 GPS ロガーでは、約一時間にわたってコウモリの軌跡と音声放射タイミングを連続して計測できた。座標の

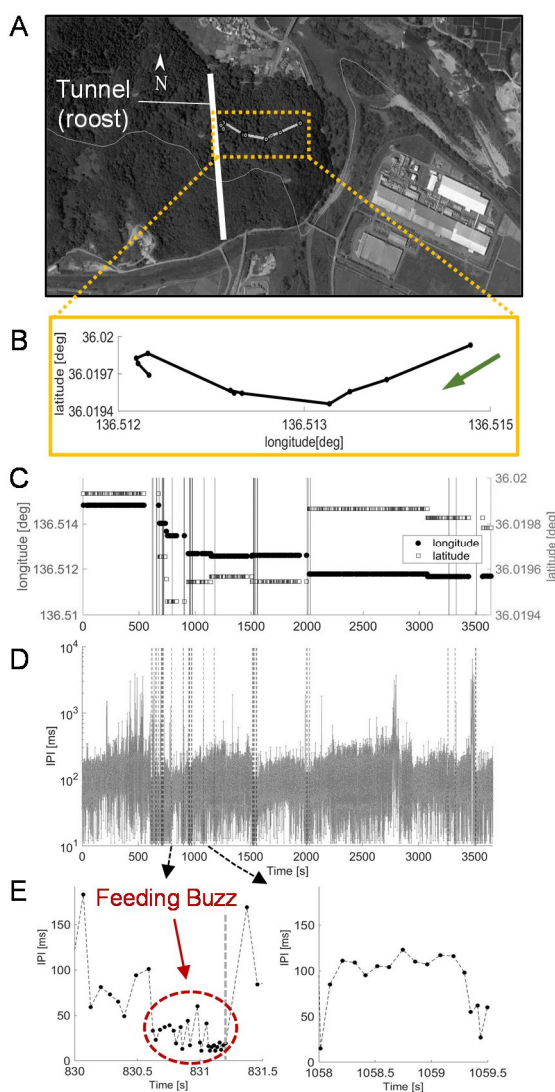


図1. キクガシラコウモリの音響 GPS バイオリギング。(A, B) コウモリの軌跡(A)とその拡大図(B)。(C, D) コウモリの座標(C)とパルス放射間隔(D)の時系列データ。(E) Dの拡大図で、捕食行動(Feeding Buzz)が見られる。C, D, Eの縦線は Feeding Buzz が検出されたタイミング。

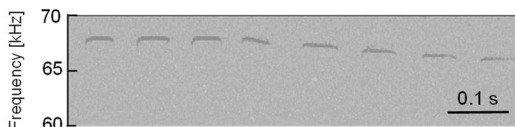


図2. 山中で計測に成功したキクガシラコウモリの音声。

変化が見られない部分では木に懸下しながら採餌していると考えられる(図1 A-C)。そして、音響データからは Feeding Buzz を検出することに成功し(図1 DE)、およそ1-2分の頻度で獲物捕食を試みていることが分かった。

一方で、野外におけるキクガシラコウモリの超音波音声は先行研究が非常に少ないため、Feeding Buzz を含め、音響ロガーで計測された音声情報を解釈するのが非常に困難であることが問題点であった。本研究により、キクガシラコウモリの採餌中の音声を定点観測地によって録音することに当該観測地にて初めて成功した(図2)。これは、過去のGPSバイオロギング研究に基づいて得られた大きな成果である。捕食回数や頻度を詳しく定量的に調べるためには、直接録音された音響情報の解析が必須である。今後、これらのデータを蓄積できれば、どこで・どのように・どれくらい採餌するのか、さらにその戦略についての詳細が明らかになることが期待される。

(2) ヤマコウモリ

マイクロホンアレイ計測によって Feeding Buzz を含む多くの音声を記録し、音響と飛行の動態を同時計測することに本種では初めて成功した(図3)。そして、2021年までに、装着した音響GPSデータロガーを1個回収することに成功した(図4)。そこで、定点計測から得られた Feeding Buzz の情報を用いて、音響GPSロガーデータを解析した。

図4 A の軌跡上の赤×印、図4 BC の灰色縦線がそれぞれ Feeding Buzz が観測された地点および時刻である。このコウモリは山間部(緑)・川の上(青)・市街地(赤)の順に飛行し、それぞれのエリアで飛行高度と速度を変えながら採餌を行っていることが分かる。図4 A 拡大図のように、ある地点で集中的に捕食を繰り返すだけでなく、市街地や山間部の上空にて移動しながらも獲物捕食を繰り返していることが初めて明らかとなった。山間部では対地高度が最大で200m以上の高さを飛行しながら採餌していることが分かる(図4 B)。これはGPSデータだけでは分からない、本研究の特色的な成果と言える。ヤマコウモリはその採餌スタイルから、風力発電ブレードとの衝突リスクが高い種であると言われている。それ故に、彼らの移動に伴う行動原理を捕食行動という側面から知ることができる本研究は、風発によるコウモリ衝突のリスクを知るために重要となる。今後、本研究によって構築したノウハウによりデータを蓄積することができれば、ヤマコウモリの採餌行動生態の理解が大きく進むことが期待できる。

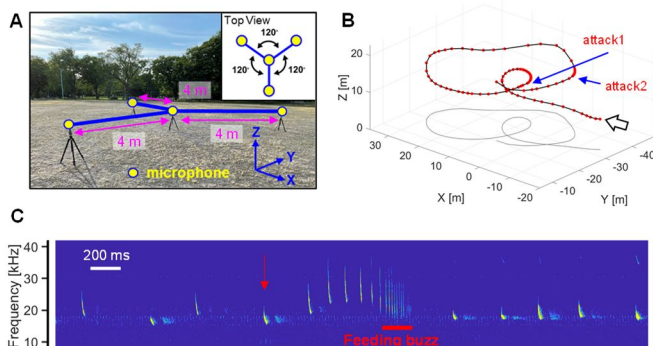


図3 . ヤマコウモリのマイクロホンアレイ計測。(A) 4ch マイクロホンアレイ。(B) 飛行軌跡。(C) 獲物捕食時の音声。マイクロホンアレイを用いることで、音源を分離して音響解析することができる。

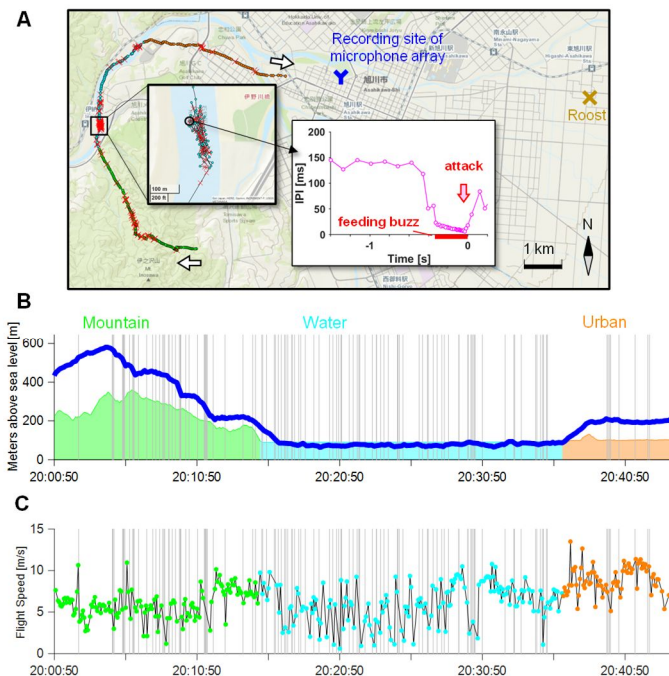


図4 . ヤマコウモリの音響GPSバイオロギング。(A) コウモリの飛行軌跡。(B,C) 飛行海拔高度(B)と飛行速度(C)の時系列データ。縦線は Feeding Buzz が検出されたタイミングを示す。

< 引用文献 >

- [1] James A. Simmons, Brock Fenton and Michael J. O'Farrell, "Echolocation and pursuit of prey by bats," Science 203(4375): 16-21, 1979.
- [2] Genki Nakai, Emyo Fujioka, Dai Fukui, Ken Yoda and Shizuko Hiryu, "Investigation of long-distance navigation strategy of the bats during natural foraging, using GPS and acoustic-GPS data-loggers," Proceedings of the 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics 2P2-E04, Hiroshima, Japan, June 5-8, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 藤岡慧明, 飛龍志津子	4. 巻 44
2. 論文標題 野外におけるコウモリの超高周波音とその利用戦略	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本騒音制御工学会誌	6. 最初と最後の頁 75-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Emyo Fujioka and Shizuko Hiryu	4. 巻 36
2. 論文標題 Echolocation strategy of bats during natural foraging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Comparative Physiology and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 91-99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3330/hikakuseiriseika.36.91	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Mizuguchi Yuuka, Fujioka Emyo, Heim Olga, Fukui Dai, Hiryu Shizuko	4. 巻 225
2. 論文標題 Discriminating predation attempt outcomes during natural foraging using the post-buzz pause in the Japanese large-footed bat, <i>Myotis macrodactylus</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Biology	6. 最初と最後の頁 jeb243402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/jeb.243402	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 藤岡 慧明、長谷 一磨、飛龍 志津子	4. 巻 61
2. 論文標題 コウモリ 空中エコーロケーションのスペシャリスト	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 9~14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11499/sicejl.61.9	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 藤岡慧明, 仁賀佳史, 福井大, 依田憲, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの音響GPSバイオロギング
3. 学会等名 第16回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Olga Heim, Emyo Fujioka, Takuya Maekawa, Genki Nakai, Dai Fukui and Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Light-weight GPS-loggers reveal the movement behavior of Rhinolophus nippon in semi-natural and anthropogenic landscapes of Japan
3. 学会等名 6th International Berlin Bat Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤岡慧明
2. 発表標題 コウモリの採餌生態に学ぶ超音波ナビゲーション戦略
3. 学会等名 第64 回自律分散システム部会研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Emyo Fujioka, Genki Nakai, Olga Heim, Dai Fukui and Shizuko Hiryu
2. 発表標題 GPS Tracking of the Navigation Behavior of the Birdlike Noctule during Nightly Foraging
3. 学会等名 International Bat Research Conference (IBRC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nozomi Nishiumi, Emyo Fujioka and Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Pursuit tactics of predatory bats: predictive shooting of echolocation sonar beam and appropriate combination of two types of flight maneuvers
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genki Nakai, Emyo Fujioka, Dai Fukui, Ken Yoda and Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Investigation of navigation strategy of Japanese horseshoe bats during natural foraging using GPS and Acoustic-GPS data-Loggers
3. 学会等名 International Bat Research Conference (IBRC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡慧明, 中井元貴, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 ヤマコウモリの採餌飛行時における大規模ナビゲーション戦略
3. 学会等名 第15回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水口木綿花, 藤岡慧明, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 採餌パッチ内におけるモモジロコウモリの最適採餌戦略の検討
3. 学会等名 日本動物行動学会第38回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福代三華, 浅野幸輝, 藤岡慧明, 飛龍志津子
2. 発表標題 ステレオカメラを用いた野生コウモリの出巢メカニズムの検討
3. 学会等名 日本動物学会第90回大阪大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水口木綿花, 藤岡慧明, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 音響と映像の同時計測による野生コウモリの最適採餌戦略に関する検討
3. 学会等名 日本音響学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井元貴, 藤岡慧明, 福井大, 依田憲, 飛龍志津子
2. 発表標題 GPSロガー及びGPS音響ロガーを用いた野生コウモリの長距離ナビゲーション戦略の検討
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Heim Olga, Fujioka Emyo, Fukui Dai, Maekawa, Takuya, Hiryu Shizuko
2. 発表標題 Light-weight GPS-loggers reveal the movement behavior of Rhinolophus nippon in semi-natural and anthropogenic landscapes
3. 学会等名 15th European Bat Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fujioka Emyo, Heim Olga, Niga, Yoshifumi, Nomi Akito, Fukui Dai, Hiryu Shizuko
2. 発表標題 Nightly movement behavior of the birdlike noctule Nyctalus aviator, measured by GPS bio-logging
3. 学会等名 International Bat Online Research Symposium (IBROS) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fukui Dai, Akasaka Takumi, Fujioka Emyo, Hirao Toshihide, Hiryu Shizuko, Matsui, Takanori
2. 発表標題 Current status of the bat-windfarm conflict in Japan, and overview of an ongoing project
3. 学会等名 International Bat Online Research Symposium (IBROS) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fujii Keisuke, Takeishi Naoya, Tsutsui Kazushi, Fujioka Emyo, Nishiumi Nozomi, Tanaka Ryoya, Fukushiro Mika, Ide Kaoru, Kohno Hiroyoshi, Yoda Ken, Takahashi Susumu, Hiryu Shizuko, Kawahara, Yoshinobu
2. 発表標題 Learning interaction rules from multi-animal trajectories via augmented behavioral models
3. 学会等名 Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS'21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤岡慧明, 福井大, 依田憲, 飛龍志津子
2. 発表標題 採餌行動時におけるコウモリの超音波ナビゲーション戦略の解明
3. 学会等名 哺乳類学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仁賀佳史, 藤岡慧明, 藤谷彰子, 福井大, 依田憲, 飛龍志津子
2. 発表標題 大規模空間におけるヤマコウモリの採餌ナビゲーション戦略
3. 学会等名 第17回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤本知己, 藤岡慧明, 手嶋優風, 西海望, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの飛行能力と搭載物重量の関係
3. 学会等名 第17回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松岡佳奈, 藤井紀帆, 藤岡慧明, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 モモンジロコウモリの餌場利用とコミュニケーション音声の関係
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田創志, 藤井紀帆, Olga HEIM, 藤岡慧明, 中村祐士, 大江洋平, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの安定同位体による農地利用頻度推定及びGC-MSによる残留農薬試験の試み
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------