

令和 3 年 8 月 13 日現在

機関番号：34310

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06542

研究課題名(和文)コウモリのアクティブセンシングによるナビゲーション行動の包括的理解

研究課題名(英文)Navigation behavior by active sensing in bats

研究代表者

飛龍 志津子(Hiryu, Shizuko)

同志社大学・生命医科学部・教授

研究者番号：70449510

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 99,500,000円

研究成果の概要(和文)：コウモリのナビゲーション行動を様々なスケールや計測手段を用いて高度に計測し、超音波センシングを伴うコウモリ独自のナビゲーション戦術を明らかにすることを目的としている。主な成果は、1) 集団飛行するコウモリが、互いの超音波の周波数を変化させることを発見し、さらにナビゲーション中の混信回避手段が工学的にも有用であることを実証した。2) 独自開発の音響GPSロガーによるバイオロギングに成功し、貴重な野性下の移動生態に関する新しい知見を得た。3) 障害物空間を繰り返し飛行すると、飛行経路や超音波センシングのコストを下げる学習効果が見られたことから、個体の内的状態によりナビゲーションが変化することを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コウモリは飛行能力を持つ唯一の哺乳類であり、聴覚を用いた特殊な環境把握能力も兼ね備えている。本研究では、飼育下から野生環境に至る幅広いスケールで、コウモリの移動と音響データの計測を行った。その結果、コウモリの高度なナビゲーションを支える新しい行動や戦術を発見し、さらにそれらが工学的にも価値ある知見であることを実証した。コウモリのモデル動物としての利点を活かすことで、生態学から工学に至る生物ナビゲーション研究の創出とその発展に寄与する成果が得られたと考えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted advanced measurements of the navigation behavior of bats using various scales and measurement methods, with the aim of clarifying the unique navigation tactics of bats involving ultrasonic sensing. The main results are as follows: 1) We discovered that bats flying in groups change the frequency of their ultrasound pulses. In addition, we demonstrated that jamming avoidance behavior of bats during group navigation is useful from an engineering point of view. 2) Successful bio-logging using a custom-made acoustic GPS logger has provided valuable new insights into the movement ecology of echolocating bats in the wild. (3) Repeated flights in obstacle space showed a learning effect that reduced the cost of flight paths and ultrasonic sensing, indicating that navigation changes with the internal state of the individual.

研究分野：生物音響工学

キーワード：エコーロケーション 生物ソナー バイオロギング 超音波センシング

### 1. 研究開始当初の背景

コウモリは超音波を用いたソナーの能力を有する。ヒトや動物のセンシングは、多くの場合、視覚や匂いのように“パッシブ”に行われるのに対し、コウモリは探索したい空間の広さや注目するターゲットまでの距離に応じて、発信する超音波の放射間隔や強さなどのパラメータを“アクティブ”に変化させる。すなわち、アクティブセンシングを行うコウモリの超音波には、彼らの“考え”や“判断”が込められている事から、三次元を自由に飛翔する哺乳類のナビゲーションに関わる意思決定のプロセスを、コウモリ超音波の音響計測から読み解くことができる。コウモリのナビゲーションに関しては、聴覚のモデル動物として神経生理学的研究や、また野生コウモリに対する音響計測などが欧米を中心にこれまで進められてきた。しかしいずれも既存技術を利用した単一の学問分野での深化に留まり、高等動物の高度なナビゲーション解明に必要な生物・情報・工学などの複合的研究がなされてこなかった。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、ナビゲーション研究におけるコウモリのモデル動物としての利点に着目し、哺乳類であるコウモリの意思決定プロセスを理解し、精密な空間知覚から野生下での長距離移動に至る高度な3次元ナビゲーション原理の包括的理解を目指す。

コウモリは超音波を用いたアクティブセンシングを行う。彼らは状況に応じて、超音波の放射タイミングや方向などを動的に変化させることから、その超音波には彼らが「何時・何処で・何を思ったか」に関する情報が含まれている。すなわち、視覚や匂いのようなパッシブセンシングによるナビゲーション研究ではわからない、動物の注意方向や意思判断のタイミングなどを直接読み解くことができる。本研究は、さらに多次元データロギング技術の活用およびデータ科学分野と様々な研究連携を図ることによって、コウモリの高度な音響ナビゲーションの理解を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では先端的ロギング技術の開発を通じて、コウモリの超音波による3次元空間ナビを高度に計測する。音響情報と移動情報に基づき、コウモリの意思や判断を読み解き、生態行動学から工学まで幅広い応用が期待される音響ナビゲーションの戦術を理解する。具体的な研究の方法は以下の通り。

#### (1) 小規模ナビゲーションの行動学

飼育下のコウモリを用いて、再現性の高い行動計測を実施する。例えば室内の人工環境下に構築した障害物ルートにおいて、回避のための超音波や飛行経路を計測し、その戦術を明らかにする。また室内にて小集団における飛行と超音波を個体毎に搭載したテレメトリマイクロホンを用いて計測し、音響的な混信に対するナビ戦術を解明する。さらに捕食者-被食者間のナビゲーション行動についても、コウモリが逃げる獲物に対し先読みする可能性を考察し、コウモリの超音波センシングによる追跡モデルを検討する。

#### (2) 中規模ナビゲーションの行動学

コウモリの超音波から採餌場所や頻度など外部情報が収集できることを利用し、野性コウモリの採餌コストと外部環境の関係の分析から、コウモリ独自の採餌モデルを検討する。実際の採餌場面において、効率的なアプローチや先読みに必要な超音波運用を調査する。

#### (3) GPS 計測による大規模ナビゲーションの理解

コウモリの超音波と飛行軌跡をモニタリングする小型GPS音響ロガーを開発し、野生下での長距離ナビゲーション行動を多次元に計測する。移動生態がほとんど理解されていないエコーロケーションを行う小コウモリに対して、夜間の移動や環境利用を明らかにすると同時に、超音波の記録により採餌場所の特定や頻度などの情報を得る。

### 4. 研究成果

上述の3つの項目を柱として、研究を実施した。主な成果を以下に挙げる。

#### (1) 小規模ナビゲーションの行動学

障害物回避飛行におけるコウモリ音響ナビ(図1)：

同一空間を繰り返し飛行することで空間を学習すると、コウモリがエコーロケーションと飛行経路をコストを下げる方向に変化させることがわかった。コウモリがエコーロケーションによって高精度な空間マップを構築していること、また学習によってナビゲーション行動

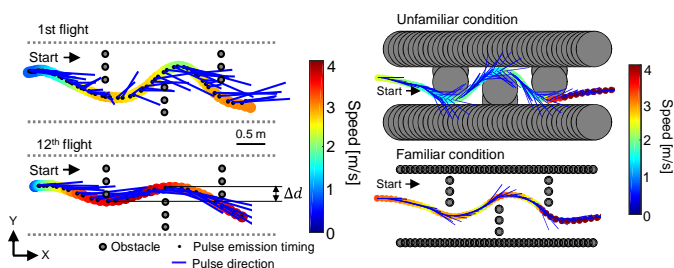


図1 空間学習によるコウモリの音響ナビ行動の変化(左)と警戒心パラメータを導入した数理モデルの提案(右)。

に適応的な変化が生じることを明らかにした (Yamada, Hiryu et al, Scientific report, 2020) . またこの空間学習によるナビゲーションの変化を, コウモリの内的な警戒心パラメータの変化と捉えることで, シンプルな数理モデルで表現することができた (2019 年度システム制御情報学会学会奨励賞他 受賞 2 件) . さらに行動実験で得られたコウモリの障害物回避ナビに関するアイデアを自律走行車に実装することで, 工学的にも有用であることを示した (Yamada et al., Advanced Robotics, 2019) .

### 小集団における混信回避のためコウモリ音響ナビ ( 図 2 ) :

集団で飛行する際には, 自信の音声のみならず, 周囲の同種他個体からの超音波による混信が生じる . コウモリが集団で飛行する際, 互いが衝突せず飛行する様子は知られているが, その具体的な混信回避策については未解明であった . そこで超小型テレメトリマイクロホンを用いて, 実験室内で小集団で飛行するコウモリが発する超音波を, 個体毎から計測することに成功した . その結果, 周波数降下型の超音波を発するユビナガコウモリでは, その周波数降下音の終端周波数を周囲の個体同士で互いにわずかに変化させていることを発見した ( Hase, Hiryu, et al., Communications Biology, 2018) . またその周波数調整行動によって, 音響的な混信が効果的に回避できることを確認した . これらの成果は, 集団ナビゲーションにおける超音波運用の実態を明らかにしたと同時に, センシング技術などの工学的にも有用な知見を提供した . さらにラウドスピーカを用いた飛行室内でのプレイバック実験から, 周波数調整行動を引き起こす音刺激の詳細も明らかになりつつある ( Maitani, et al. Journal of Experimental Biology, 2018) .

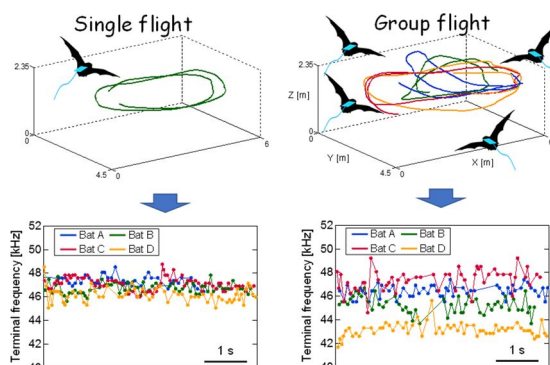


図 2 集団飛行中のコウモリの超音波周波数の変化

### ( 2 ) 中規模ナビゲーションの行動学

#### パッチ内の採餌中のナビゲーション

水面に限定されるモジロコウモリを対象にしたパッチ内での採餌行動の計測と音響分析から, post buzz pause と呼ばれる無音区間の長さの変化が, 高感度カメラで確認されたコウモリの捕食の成功, 失敗, 放棄の行動状態と関連があることを見出した . これより野生動物の実際の捕食効率を推定することが可能となり, パッチを去る意思判断の考察が可能となった ( 投稿準備中) . これにより, コウモリをモデルとした採餌に関する野生下でのナビゲーション研究を立ち上げることができた (2019 年度日本音響学会秋季研究発表会学生優秀発表賞) .

#### 野生下の集団ナビゲーション

領域内のデータ科学班との共同研究によって, 野外環境下で集団出巢するコウモリの 3 次元飛行軌跡の計測及び行動分類に成功した ( Fujioka, Hiryu, et al., Journal of Robotics and Mechatronics, in press) . 知見の乏しい野生下でのコウモリの集団ナビゲーションに関して, 本手法によって個体数の調査や出巢と環境との関係など, 今後の生態調査に役立つ知見が得られてきている .

### ( 3 ) GPS 計測による大規模ナビゲーションの理解

領域内の生態班と共同し, エコーロケーションを行う小コウモリに対して国内初となるバイオロギング調査を実施した . マイクロホンアレイと GPS ロガーとのハイブリッド計測により, 情報が極めて少ないコウモリ種の貴重な採餌生態の計測に成功した ( 18th International Bat Research Conference, Phuket Thailand にて Best Student Poster Presentation Award) . さらに独自に開発した音響 GPS ロガーによるデータ収集にも成功し, 記録した超音波の発声パターンから, 探索や採餌などの状態の推定が音声データから可能となった . その結果, 採餌を行う場所の特定や移動ルート, 植生や地理との関係など, コウモリの移動生態の解明に重要となる様々な新しい知見を得ることができた ( 投稿準備中) .

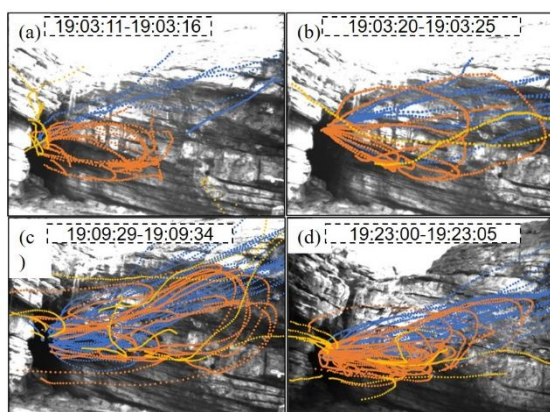


図 3 集団出巢するコウモリの行動パターンの分類

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Kazuma Hase, Yukimi Kadoya, Yosuke Maitani, Takara Miyamoto, Kohta I. Kobayasi, Shizuko Hiryu	4. 巻 1
2. 論文標題 Bats enhance their call identities to solve the cocktail party problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-018-0045-3 pp.1-8	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 飛龍 志津子、角谷 美和、長谷 一磨	4. 巻 87
2. 論文標題 コウモリの生物ソナーシステム	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 839 ~ 843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/oubutsu.87.11_839	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 Yosuke Maitani, Kazuma Hase, Kohta I. Kobayasi, Shizuko Hiryu	4. 巻 221
2. 論文標題 Adaptive frequency shifts of echolocation sounds in <i>Miniopterus fuliginosus</i> according to the frequency-modulated pattern of jamming sounds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Biology	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/jeb.188565	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 Yasufumi Yamada, Kentaro Ito, Takumi Tsuji, Kohei Otani, Ryo Kobayashi, Yoshiaki Watanabe, Shizuko Hiryu	4. 巻 33
2. 論文標題 Ultrasound navigation based on minimal designed vehicle inspired by bio-sonar strategy of bats	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 169-182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2019.1573470	査読の有無 有
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 Motoi, K., Sumiya, S., Fujioka, E., Hiryu, S.	4. 巻 141
2. 論文標題 Three-dimensional sonar beam-width expansion by Japanese house bats ( <i>Pipistrellus abramus</i> ) during natural foraging	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 EL439-EL444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1121/1.4981934	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 Miwa Sumiya, Emyo Fujioka, Shizuko Hiryu	4. 巻 12(1)
2. 論文標題 Coordinated Control of Acoustical Field of View and Flight in Three-Dimensional Space for Consecutive Capture by Echolocating Bats during Natural Foraging	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0169995
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0169995	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 Emyo Fujioka, Ikkyu Aihara, Miwa Sumiya, Kazuyuki Aihara, Shizuko Hiryu	4. 巻 113
2. 論文標題 Echolocating bats use future-target information for optimal foraging	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 4848-4852
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1515091113	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 Kazuma Hase, Takara Miyamoto, Kota I Kobayasi, Shizuko Hiryu	4. 巻 128
2. 論文標題 Rapid frequency control of sonar sounds by the FM bat, <i>Miniopterus fuliginosus</i> , in response to spectral overlap	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Behavioural Processes	6. 最初と最後の頁 126-133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.beproc.2016.04.017	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 Yasufumi Yamada, Arie Oka, Shizuko Hiryu, Hiroshi Riquimaroux, Yoshiaki Watanabe	4. 巻 202
2. 論文標題 Species-specific control of acoustic gaze by echolocating bats, <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> Nippon and <i>Pipistrellus abramus</i> , during flight	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Comparative Physiology A	6. 最初と最後の頁 791-801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00359-016-1121-0	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 飛龍志津子, 藤岡慧明	4. 巻 34
2. 論文標題 先を読むコウモリの音響ナビゲーション	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 529-533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.34.529	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 Sumiya Miwa, Ashihara Kaoru, Yoshino Kazuki, Gogami Masaki, Nagatani Yoshiki, Kobayasi Kohta I., Watanabe Yoshiaki, Hiryu Shizuko	4. 巻 145
2. 論文標題 Bat-inspired signal design for target discrimination in human echolocation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 2221 ~ 2236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1121/1.5097166	査読の有無 有
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 Yamada Yasufumi, Mibe Yurina, Yamamoto Yuya, Ito Kentaro, Heim Olga, Hiryu Shizuko	4. 巻 10
2. 論文標題 Modulation of acoustic navigation behaviour by spatial learning in the echolocating bat <i>Rhinolophus ferrumequinum nippon</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-67470-z	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 Chen Shiang Fan, Juan Chung Hao, Rossiter Stephen J., Kinjo Teruo, Fukui Dai, Kawai Kuniko, Tsang Susan M., Veluz Maria Josefa, Sakurai Hiroko, Lin Hua Ching, Jang Liaw Nian Hong, Osawa Keiko, Ko Wen Ya, Izawa Masako	4. 巻 53
2. 論文標題 Population genetic structure of the insular Ryukyu flying fox <i>Pteropus dasymallus</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biotropica	6. 最初と最後の頁 548-559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/btp.12897	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 山田 恭史、飛龍 志津子	4. 巻 76
2. 論文標題 コウモリのエコロケーションとその応用技術	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 285 ~ 290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20697/jasj.76.5_285	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, Mika Fukushima, Kazusa Ushio, Kyosuke Kohyama, Hitoshi Habe, and Shizuko Hiryu	4. 巻 -
2. 論文標題 Three-dimensional trajectory construction and observation of group behavior of wild bats during cave emergence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 -
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 有
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 Kazuma Hase, Saori Sugihara, Seiya Oka, and Shizuko Hiryu	4. 巻 -
2. 論文標題 Absence of jamming avoidance and flight path similarity in paired bent-winged bats, <i>Miniopterus fuliginosus</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 -
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 有
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84件（うち招待講演 18件 / うち国際学会 21件）

1. 発表者名 Emyu Fujioka, Miwa Sumiya, Genki Nakai, Dai Fukui, Ken Yoda and Shizuko Hiryu
2. 発表標題 From small to large-scale acoustical navigation behavior of aerial feeding bats during natural foraging
3. 学会等名 Biosonar Satellite Symposium, ICN 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasufumi Yamada, Kentaro Ito, Ryo Kobayashi, Shizuko Hiryu, Yoshiaki Watanabe
2. 発表標題 Practical and numerical investigation on a minimal design navigation system of bats
3. 学会等名 20th International Conference on Human-Computer Interaction, Caesars Place, Nevada, USA, July 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuma Hase, Yukimi Kadoya, Yosuke Maitani, Takara Miyamoto, Kohta I. Kobayasi, Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Bats decrease the similarity of their calls to solve the problem of signal jamming by conspecifics
3. 学会等名 ICN 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三部有里奈, 山田恭史, 山本雄也, 伊藤賢太郎, 小林耕太, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの空間学習に基づく音響ナビゲーション戦略に関する行動学的・数理的的分析
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI '18)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの音響ナビゲーションに学ぶ
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI ' 18) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴切雄大, 山田恭史, 辻拓実, 小林亮 (広島大), 小林耕太, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの生物ソナーから学ぶ 超音波センシングによる3次元空間ナビゲーション手法の 基礎的検討
3. 学会等名 ロボメック2018 in Kitakyushu
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田恭史, 三部有里奈, 伊藤賢太郎, 小林亮, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの生物ソナーによる空間学習ナビゲーションに関する数理的検討
3. 学会等名 ロボメック2018 in Kitakyushu
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西海望, 藤岡慧明, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの獲物追跡時の超音波照射方向及び移動経路選択における戦術性
3. 学会等名 日本動物行動学会第37回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福代三華, 浅野幸輝, 藤岡慧明
2. 発表標題 野性コウモリにおける集団飛行メカニズムの解明を目指して ~ マイクロホンアレイとステレオカメラを用いた三次元動態音響計測 ~
3. 学会等名 日本音響学会 関西支部 若手研究者交流研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Learning from biosonar system - laboratory and field studies on acoustic navigation of bats
3. 学会等名 Reinforcement Learning & Biological Intelligence, Learning from biology, learning for biology (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuka MIZUGUCHI, Fumiya HAMAI, Emyo FUJIOKA, Dai FUKUI, Shizuko HIRYU
2. 発表標題 Foraging strategy of echolocating bats, Myotis macrodactylus, flying above the pond; Behavior analysis by animation and ultrasound emissions
3. 学会等名 第66回生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fumiya HAMAI, Emyo FUJIOKA, Dai FUKUI, Shizuko HIRYU
2. 発表標題 Do wild bats give a foraging patch to other individuals? ~ Considering the possibility of reciprocal altruistic behavior with sound information ~
3. 学会等名 第66回生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤岡 慧明, 中井 元貴, 福井 大, 依田 憲, 飛龍 志津子
2. 発表標題 GPS バイオロギングに基づいたコウモリの大規模採餌行動戦略の検討
3. 学会等名 第66回生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Acoustic navigation of bats
3. 学会等名 第66回生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飛龍 志津子, 長谷 一磨, 藤岡 慧明
2. 発表標題 コウモリの音響ナビゲーション行動
3. 学会等名 第124回日本解剖学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Learning future engineering from acoustic navigation of bats
3. 学会等名 20th CiNet Monthly Seminar (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリのエコーロケーションに学ぶ
3. 学会等名 第24回コウモリフェスティバル2018 in 三重 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田 恭史, 伊藤 賢太郎, 小林 亮, 飛龍 志津子
2. 発表標題 未知空間を飛行するコウモリの音響ナビゲーションアルゴリズムおよび自律走行車による工学的検証
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 (ビックパレットふくしま)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤岡慧明, 氏野友裕, 福井大, 依田憲, 飛龍志津子
2. 発表標題 野生コウモリの大規模ナビゲーション戦略の分析 環境情報の利用戦略と標的探索戦略について
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 (ビックパレットふくしま)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Laboratory and field studies on acoustic navigation of echolocating bats - Tracking of flight paths and ultrasounds
3. 学会等名 The 6th International Seminar on Biodiversity and Evolution: Wildlife Science by New Biologging studies (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飛龍志津子
2. 発表標題 生物に学ぶセンシング技術 - コウモリの生物ソナーシステム -
3. 学会等名 豊田中央研究所 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飛龍志津子
2. 発表標題 生物ソナー・コウモリの超音波センシング技術
3. 学会等名 電子セラミックプロセス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuma Hase, Yukimi Kadoya, Yosuke Maitani, Kohta Kobayashi, Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Adaptive changes in vocal frequency by echolocating bats during group flight
3. 学会等名 第40回神経科学大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Measuring the "attention" during 3D navigation of bats
3. 学会等名 IEEE ICMA 2017 Conference Tutorial Workshops on Systems Science of Bio-navigation
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 角屋志美、竹内由紀、長谷一磨、小林耕太、飛龍志津子
2. 発表標題 群れで飛行するコウモリはうるさい状況にどのように立ち向かうか テレメトリ計測による混信回避の検討
3. 学会等名 行動2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 氏野友裕、中井元貴、藤岡慧明、福井大(東京大)、依田憲(名古屋大)、飛龍 志津子
2. 発表標題 野生コウモリを追跡! GPSロガーとマイクロホンアレイから見た音響採餌行動戦略"
3. 学会等名 行動2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Tracking of 3D flight paths and ultrasounds -Laboratory and field studies on acoustic navigation of bats
3. 学会等名 The 33rd Annual meeting of the society of population echolocaty (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻 拓実, 山田 恭史, 大谷 倅平, 松浦 弘智, 伊藤 賢太郎, 小林 亮, 飛龍 志津子
2. 発表標題 自律ロボットとシミュレーションによるコウモリの障害物回避飛行時におけるセンシング戦略の検証
3. 学会等名 第18回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中井元貴、 氏野友裕、 藤岡慧明、 依田憲、 福井大、 飛龍志津子
2. 発表標題 バイオロギング手法に基づいた野生コウモリの音響ナビゲーション戦略の検討
3. 学会等名 第18回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 氏野友裕, 中井元貴, 藤岡慧明, 依田憲, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 GPS データロガーとマイクロホンアレイを組み合わせた野生コウモリの採餌戦略の分析
3. 学会等名 第13回バイオロギングシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本雄也、 三部有奈、 山田恭史、 小林耕太、 飛龍志津子
2. 発表標題 音響的遮蔽度の異なる障害物空間を繰り返し飛行するコウモリの音響ナビゲーションによる空間学習過程の比較
3. 学会等名 第13回バイオロギングシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fumiya Hamai, Emyo Fujioka, Dai Fukui and Shizuko Hiryu
2. 発表標題 A study on the adaptive foraging strategy of wild echolocating bats:
3. 学会等名 THE 6TH INTERNATIONAL BIO-LOGGING SCIENCE SYMPOSIUM, LAKE CONSTANCE GERMANY (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomohiro Ujino, Dai Fukui, Ken Yoda, Shizuko Hiryu and Enyo Fujioka
2. 発表標題 Analysis of navigation strategy by echolocating bats across small to large spaces; Measurement of echolocation and flight behavior of bats using GPS data-loggers and microphone-array system
3. 学会等名 THE 6TH INTERNATIONAL BIO-LOGGING SCIENCE SYMPOSIUM, LAKE CONSTANCE GERMANY (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuma Hase, Yukimi Kadoya, Yosuke Maitani, Takara Miyamoto, Kohta I. Kobayasi, and Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Echolocating bats broadening frequency separation to reduce jamming from conspecifics
3. 学会等名 SOCIETY FOR NEUROSCIENCE 47th Annual Meeting 2017 11th - 15th November ,2017 Walter E. Washington Convention Center, Washington DC, USA
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Enyo Fujioka, Fumiya Hamai, Miwa Sumiya, Kazuya Motoi, Dai Fukui, Kohta I. Kobayasi, Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Echolocation and flight strategies of aerial-feeding bats during natural foraging
3. 学会等名 The 174th Meeting of ASA, 4-8 December, 2017, New Orleans Marriott, Luisiana, USA (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飛龍志津子
2. 発表標題 生物ソナー・コウモリの超音波センシング - “音で見る”ための様々な工夫 -
3. 学会等名 ブレインウェア工学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Kazuma Hase, Takafumi Furuyama, Yukimi Kadoya, Kohta I. Kobayasi and Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Strategies for jamming avoidance of bats reflect different behavioral contexts
3. 学会等名 76th Annual Meeting of the Japanese Society for Animal Psychology (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yosuke Maitani, Kazuma Hase, Yukimi Hadoya, Kohta I. Kobayasi, Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Adaptive adjustment of frequency structure of echolocation sounds in
3. 学会等名 76th Annual Meeting of the Japanese Society for Animal Psychology (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kazuma Hase, Yukimi Kadoya, Yosuke Maitani, Kohta I Kobayasi, Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Jamming avoidance by the echolocating bat during flight with multiple conspecifics
3. 学会等名 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuya Yamamoto, Yasufumi Yamada, Kohta I. Kobayasi, Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Obstacle avoidance navigation by echolocating bat: Compared relationships between acoustic guidance and flight control in unfamiliar space and familiar space
3. 学会等名 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 宮本聖, 長谷一磨, 山田恭史, 岸本啓太, 伊藤賢太郎, 小林耕太, 飛龍志津子
2. 発表標題 音響動態計測による群行動中のコウモリの衝突回避行動の分析
3. 学会等名 日本バイオロギング研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 近藤大, 藤岡慧明, 小林耕太, 飛龍志津子, 合原一究
2. 発表標題 コウモリの飛行モード変換のダイナミクス
3. 学会等名 日本バイオロギング研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 本居和也, 瀧井郁弥, 藤岡慧明, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 3次元音響動態計測に基づいた野生コウモリの最適パッチ利用に関する検討
3. 学会等名 日本バイオロギング研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masaru Kondo, Emyo Fujioka, Kohta I Kobayasi, Shizuko Hiryu, Ikkyu Aihara
2. 発表標題 Mode Switching between Repulsive and Attractive Flight Dynamics of Bats
3. 学会等名 9th Dynamics Days Asia Pacific, (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 氏野友裕、藤岡慧明、福井大、飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの大規模・小規模空間における採餌行動時のソナー戦略の分析～GPSイベントロガーとマイクロホンアレイを用いた動態音響計測～
3. 学会等名 第64回日本生態学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 瀨井郁弥, 本居和也, 藤岡慧明, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 野生コウモリの最適採餌戦略の検討 ～マイクロホンアレイを用いた3次元音響動態計測～
3. 学会等名 第64回日本生態学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 飛龍志津子
2. 発表標題 生物ソナー・コウモリに学ぶ, 超音波センシング術
3. 学会等名 第21回関西大学先端科学技術シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Tracking from small to large scale navigation of bats
3. 学会等名 17th International Bat Research Conference 2016(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 Emyo Fujioka, Ikkyu Aihara, Miwa Sumiya, Kazuyuki Aihara and Shizuko Hiryu
2 . 発表標題 Wild echolocating bats plan their flight paths using future-target information
3 . 学会等名 17th International Bat Research Conference 2016 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Nozomi Nishiumi, Emyo, Fujioka, Shizuko Hiryu
2 . 発表標題 Tactics used by bats when pursuing prey: predictive control of echolocation sonar direction and flight course
3 . 学会等名 Behavior 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Genki Nakai, Emyo Fujioka, Dai Fukui, Ken Yoda, 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 18th INTERNATIONAL BAT RESEARCH CONFERENCE, 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Emyo Fujioka, Genki Nakai, Olga Heim, Dai Fukui, 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 18th INTERNATIONAL BAT RESEARCH CONFERENCE, 2019 ( ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Yurina Mibe, Yasufumi Yamada, Kentaro Ito, Kota Kobayashi, Shizuko Hiryu
2. 発表標題 Investigation of obstacle avoidance algorithm in paired-driving autonomous mobile robots revealed by mimicking ultrasonic sensing in bats
3. 学会等名 The 178th Meeting of the Acoustical Society of America (ASA), 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Fujimori, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Emyo Fujioka, Shizuko Hiryu and Toru Tamaki
2. 発表標題 Position estimation using multi-channel audio signals
3. 学会等名 ACML 2019 : The 11th Asian Conference on Machine Learning, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡慧明, 合原一究, 角谷美和, 福井大, 合原一幸, 飛龍志津子
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 ロボメック講演会 2019in Hiroshima
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 ロボメック講演会 2019in Hiroshima
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの生物ソナーシステム
3. 学会等名 第三回 和光 - 精神神経懇話会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三部有里奈, 山田恭史, 伊藤賢太郎, 小林耕太, 飛龍志津子
2. 発表標題 音響遮蔽度の異なる障害物環境を繰り返し飛行するコウモリの音響ナビゲーション戦略に関する行動学的・数理学的分析
3. 学会等名 数理生物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉原 沙織, 竹内 由紀, 長谷 一磨, 高山 真太郎, Ardakani Ilya, 橋本 浩一, 飛龍 志津子
2. 発表標題 コウモリのペア飛行時における超音波パルスの音響特性ならびに飛行軌跡に関する検討
3. 学会等名 日本動物学会第90回大阪大会 2019
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時における集団飛行メカニズムの検討
3. 学会等名 日本動物学会第90回大阪大会 2019
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 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 バイオロギング研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの生物ソナーシステム
3. 学会等名 次世代センサ・アクチュエータ委員会 (招待講演)
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 SWARM 2019: The 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷一磨, 角屋志美, 竹内由紀, 小林耕太, 飛龍志津子
2. 発表標題 音響テレメトリ計測で解き明かすコウモリの集団飛行時の混信回避行動
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 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 飛龍志津子
2. 発表標題 生物ソナーシステム アクティブセンシングによるコウモリの空間知覚術 -
3. 学会等名 日本認知科学会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 OLGA HEIM, EMYO FUJIOKA, TAKUYA MAEKAWA, GENKI NAKAI, DAI FUKUI, 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 the 6th International Berlin Bat Meeting, Berlin Mar.22-23 (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 東亮浩, 藤岡慧明, 吉野寿紀, 手嶋優風, 飛龍志津子
2. 発表標題 目的地をもつコウモリによる回避行動の音響ナビゲーション戦略に関する行動学的・数理的検討
3. 学会等名 2020年度日本数理生物学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤岡慧明, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリは最適採餌のために餌場を譲るのか? エージェントベースシミュレーションによる採餌効率の検討
3. 学会等名 2020年度日本数理生物学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉野寿紀, 平垣内緑, 小林耕太, 飛龍志津子
2. 発表標題 アブラコウモリの内的状態へのアプローチ: 下丘誘発電位および心電図計測
3. 学会等名 日本音響学会 聴覚研究会
4. 発表年 2020年

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 松岡佳奈, 水口木綿花, 藤岡慧明, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの最適餌場利用戦略 ~モモジロコウモリは餌場を譲り合うのか!?~
3. 学会等名 第39回 日本動物行動学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 仁賀佳史, 藤岡慧明, 後藤佑介, 依田憲, 飛龍志津子
2. 発表標題 風推定による採餌飛行時におけるコウモリのナビゲーション戦術の検討
3. 学会等名 第68回 日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水口木綿花, 松岡佳奈, 藤岡慧明, Olga HEIME, 福井大, 飛龍志津子
2. 発表標題 完全野外環境下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 第68回 日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飛龍志津子
2. 発表標題 コウモリの音響ナビゲーション
3. 学会等名 2020 年度 研究集会『生物流体力学におけるモデリング』（国際学会）
4. 発表年 2020年

## 〔図書〕 計4件

1. 著者名 Shizuko Hiryu, Emanuel C Mora, Hiroshi Riquimaroux	4. 発行年 2016年
2. 出版社 Springer-Verlag	5. 総ページ数 304(239-263)
3. 書名 Bat Bioacoustics	

1. 著者名 日本バイオロギング研究会	4. 発行年 2016年
2. 出版社 京都通信社	5. 総ページ数 223
3. 書名 バイオロギング	

1. 著者名 飛龍志津子	4. 発行年 2017年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 200(164-167)
3. 書名 音響学入門ペディア	

1. 著者名 佐藤克文、中野富美子	4. 発行年 2018年
2. 出版社 あかね書房	5. 総ページ数 40
3. 書名 バイオロギングで新発見！ 動物たちの謎を追え	

## 〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 物体検知装置	発明者 飛龍 志津子 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-165858	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 物体検知装置	発明者 飛龍 志津子 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-165857	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	小林 耕太 (Kobayasi Kota)  (40512736)	同志社大学・生命医科学部・教授  (34310)	
研究分担者	福井 大 (Fukui Dai)  (60706670)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・助教  (12601)	

	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
研究協力者	藤岡 慧明 (Fujioka Emyo)		
研究協力者	長谷 一磨 (Hase Kazum)		
研究協力者	伊藤 賢太郎 (Ito Kentaro)		
研究協力者	山田 恭史 (Yamada Yasufumi)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	オルガ ハイム  (Heim Olga)		

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