

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：17301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19429

研究課題名(和文) 空中食物資源の分布とその利用の解明：「空のニッチ」を把握する

研究課題名(英文) Elucidating the distribution and use of airborne food resources: understanding the "niche in the sky"

研究代表者

山口 典之 (YAMAGUCHI, Noriyuki)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授

研究者番号：60436764

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：空中には様々な昆虫が飛翔しており、それを食物資源と捉えると地上や海中と同様に生物が利用可能な資源が存在すると言える。空中採食に専門化した鳥種を研究対象とし、この「空のニッチ」がどのように利用されているのか、またその資源がどう分布し、どのような環境条件により成り立っているのかを理解する萌芽研究を実施した。この課題では研究対象が効果的に繁殖できる巣箱を新規に開発した。次に飛翔昆虫採取や局所気象条件調査のためにドローンを利用した。次にGPSロガーを活用し、空中での三次元飛行経路を追跡することに成功した。さらに巣に持ち帰る餌生物を特定し、空中でどのような食物資源が利用されているかを特定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題で実用化した巣箱はハリオアマツバメの保全に活用する手段のひとつになる可能性がある。飛翔性昆虫を採取するドローンユニットは基礎研究だけでなく農学などの応用分野でも価値があると考えられる。巣に持ち帰った餌生物が特定されたことで、空中に存在する食物資源の構成や量、時期といった定量的な知見が得られ、これは今後の「空のニッチ」に関する研究展開に繋がる。GPS やジオロケーターによる遠隔追跡ではハリオアマツバメの具体的な空中移動の特徴を把握することができ、この成果はどのように空中資源を利用するかに関する研究の展開に繋がる。

研究成果の概要(英文)：Various insects are flying in the air, and when assuming them as food resources, we can consider that food resources exist that can be used by organisms as well as those on the ground and in the sea. We conducted budding research to understand how this "aerial niche" is used, how the resources are distributed, and what kind of environmental conditions affect. We developed a new nest box that allows the study subjects to reproduce effectively. Drones were used to collect flying insects and survey local weather conditions. We used a GPS logger to track a three-dimensional flight path in the air. In addition, we identified prey species to bring back to the nest and what food resources are being exploited in the air.

研究分野：移動生態学・鳥類学

キーワード：空のニッチ 飛翔性昆虫 ドローン 空中採食 巣箱

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生物が生存・繁殖の際に利用可能な資源の時空間的分布とその変化を明らかにし、変動する資源をその生物がいかに巧みに利用するかを理解することは、生態学の根本課題である。鳥類は、脊椎動物の中でもっとも幅広い環境に適応しており、陸・水・空域の多様な資源を利用しているため、資源分布とその利用の関係について、生態学分野の様々な側面から研究されてきた。しかし、鳥類の最大の特徴とも言える空域の移動および空域の資源利用については、十分に理解されているとは言えない。なぜなら、そもそも空中に存在する資源の空間分布とその特徴はこれまで定量的に、精度高く測定されてこなかった。さらにその空間分布に影響する環境要因の測定が地上付近であったり、解像度が粗いものであったりするからである。加えて、空中資源を利用する鳥がどのように三次元移動をしているかも正確に把握されていない。空中採食に高度に専門化した鳥種を研究対象とすることで、この課題に取り組むことが可能となる。そのような鳥種の代表としてハリオアマツバメ *Hirundapus caudacutus* が挙げられる。専門的に空中採食する本種で食物調査を実施でき、さらにドローンを利用した空中食物資源のサンプリング法を確立できれば、「空のニッチ」を研究することがこの系では可能であることを着想するに至った。加えて、「空のニッチ」の特性を把握するためには fine-scale な気象条件を知ることが重要であり、ドローンによる気象計測を実施する必要があると考えた。

当初考えた本研究の意義は以下のとおりである。空域に存在する食資源、「空のニッチ」の三次元空間分布とその変動を、初めて定量的に調査する。陸域(地圏)、水域(水圏)に存在するニッチ同様、「空のニッチ」の調査・研究は生態学的意義が極めて高いにも関わらず、これまで全く手を付けられていない。これまでの関連研究により、研究代表者・分担者はハリオアマツバメの生態をよく把握しており、調査可能な自然樹洞営巣個体の確保、GPS 研究の実施経験、メソスケール気象データの取得とその解析に関する経験を持っている。しかし、ハリオアマツバメの巣箱への誘導、地球規模での遠隔追跡、および fine-scale 気象計測ドローンシステム開発は、本研究で初めて試行する。本種を巣箱で繁殖させることは前例がなく、これを成功させることで、今回実施する本種の繁殖期の採食や移動に関連した調査が飛躍的に進展するため、巣箱架設は今後この研究を軌道に乗せるための萌芽的な取り組みとなる。ドローンシステム開発を成功させることで初めて、空中食物資源と環境要因に関するデータ収集が可能となる。その意味で本研究構想は芽生え期のものであるが、極めて挑戦的である。

2. 研究の目的

本研究では、(1)ドローンを利用した空中食物資源のサンプリングおよび fine-scale な気象測定手法の開発と実測、(2)GPS 追跡装置を利用した鳥類の三次元移動経路の正確な計測をおこなうことにより、これまでの課題を克服し、生態学的観点から極めて意義深いにも関わらず、これまで調べられていない「空のニッチ」の三次元空間分布を定量的に把握するとともに、気象条件との関係性を理解することを目的とした。(1)により、空域には鳥類にとってどのように豊かな食物資源が分布するのか、どのような気象条件で時間的・空間的に変動するのかを解明する。(2)により、鳥類が「空のニッチ」をどう巧みに利用しているのかを解明する。

本研究では、空中採食に専門化した鳥種であるハリオアマツバメを対象とした。本種は抱卵・育雛等以外は、ほぼ完全に空中で生活し、空域の食物資源に完全依存している鳥類である。本種は陸・水域に存在する食資源を全く利用しないので、「空のニッチ」への適応性に集中して研究することが可能となる。また、本種の飛行能力は極めて高く、繁殖期の営巣場所を中心とした採食トリップは、かなり広範囲であることが既に分かっている。この行動的特徴は、ある程度の空間的な広さの中でモザイク状に変化する気象条件と採食行動との関連を調査することに適している。また、繁殖期は巣での捕獲・再捕獲が容易であり、GPS ロガー研究を実施可能であること、繁殖期には、吐き戻し法により、雛への給餌のために個体が獲った食物をサンプリングし、ドローンでランダムに空中採取したサンプルと比較可能であることも、研究対象として適している。

本研究では、ハリオアマツバメが主食とする羽アリやユスリカ等の小型飛翔昆虫資源を「空のニッチ」と定義した。小型飛翔昆虫の発生量は、湿度や風力、天候等に左右されて時間的・空間的に変動すると考えられる。従って、本研究では「空のニッチ」の特徴を理解する上で、2km 以下の局所スケールから、2-10km 程度の地域スケールまでの気象条件を測定・解析した。

3. 研究の方法

(1)ハリオアマツバメは通常、大径木の高い位置にできる樹洞に営巣するため、捕獲が困難である。しかし研究代表者・分担者は、例外的に低い位置にある営巣樹洞を複数特定しており、本研究では、さらに捕獲可能個体数を増やすために巣箱を架設し、捕獲・再捕獲が可能な個体数を増やす試みを実施した。自然営巣で利用される樹洞の内部形状の特徴は先行研究により分かっている。これを参考に、本種が利用すると期待される巣箱を 10 個/年程度作成、架設した。

(2)局所気象および飛翔昆虫収集のためのドローンを開発した。気象ドローンは既に基本的な部分の実用化が完了しており、鉛直方向の風成分(上昇・下降流)等を計測するセンサーの新規設置・改良に関する検討を行った。飛翔昆虫収集ドローンユニットを新規開発した。ドローン本体は小型民生機を利用し、それに小型・軽量化した小型捕虫ネットを装着、これを一定速度で移動させ、小型飛翔昆虫を同一努力で採取する仕組みを開発し、飛翔性昆虫の捕集成績について調

査した。

(3) 繁殖期に自然樹洞あるいは巣箱で営巣中のハリオアマツバメを捕獲、GPS ロガーを装着し、三次元の移動軌跡を把握した。追跡個体の追跡は育雛中期～後期に実施した。この期間に複数回再捕獲される追跡個体が雛への給餌のために喉に溜めている餌を吐き戻させ、餌種と個体数、湿・乾重量を記録した。

(4) ハリオアマツバメの GPS 追跡日の前後日に、気象計測および飛翔昆虫収集ドローンを、調査地の任意の場所で航行させ、局所気象条件と飛翔昆虫の採取を実施した。

(5) ハリオアマツバメは渡り鳥であり、既知の越冬分布から地球規模の移動をしている可能性が考えられる。渡りという長距離移動でどのような「空のニッチ」を利用するかという研究に発展させるために、ジオロケータを捕獲個体に装着し、長期間追跡を実施した。

4. 研究成果

(1) 巣箱の開発

2017 年に 10 個設置した巣箱のうち 5 個、2018 年に設置した 10 個の巣箱のうち 9 個がハリオアマツバメにより利用された。開発した巣箱のサイズなどの詳細は、2020 年 4 月現在、Ornithological Science 誌で印刷中の学术论文に記載されている。巣箱の選好性を知るために、底面サイズが異なる大・中・小の三種類の巣箱を架設したが、大きい底面サイズが好まれることが 2017 年の調査で明らかになったため、2018 年に大きいサイズクラスの巣箱を 10 個設置したところ、期待どおり利用率が向上した。2017 年のいくつかの巣箱はクロスズメバチに占有されたが、2018 年は屋根板の裏面に界面活性剤（石鹼）を塗ることで、蜂の巣を作られないように処理を施した。2017 年はすべての巣箱で巣立ちに成功し、2018 年は 5 個の巣箱で成功した。失敗の原因は産卵期(1)、抱卵期(1)、育雛期(2)に親が帰巢しなくなったことであった（放棄あるいは親の死亡）。産卵数を巣箱利用のつがいと自然巣利用のつがいと比較したところ、統計的に有意な差はなかった。巣立ち雛数も同様に差がなかった。この調査では巣箱内に自動撮影カメラを設置した。これにより、繁殖ステージの正確な把握などに成功した。自然巣ではしばしば困難なこの手法は巣箱ならではの利点と言える。



写真 1. 巣箱入口から飛び出す成鳥



写真 2. 巣箱に産まれた卵

(2) 気象ドローン、昆虫採集ドローンの開発と環境・食物資源データ収集

大型の気象ドローンは局所気象条件の測定に利用された。上空の風況や気温、湿度プロファイルの測定を実施することができた。飛翔性昆虫の採取は気象ドローンに捕集ユニット（写真 3）や粘着版を装着することで試みたが、これは成功しなかった。プロペラが起こす強い風により、飛翔性昆虫が捕集されないことが原因と思われる。小型ドローンに捕集網ユニットを装着し、航行させたもの（未発表のため図は掲載しない）は、ユスリカサイズを下限とした飛翔性昆虫を捕集することができたが、これも高速航行時に限られた。



写真 3. 捕集ユニット

(3) 給餌物調査

繁殖中に親が雛に持ち帰る餌がどのようなものか、帰巢時に捕獲した個体が能動的に吐き戻したのから調査した。合計 17 個体から 26 回のサンプルを得た。サンプルの餌は目レベルまで特定することができた。すべてのサンプルから 13 目 42 科の昆虫が出現した。その中でもハチ目が 89% とほとんどを占めていた。ハチ目のうち 89% はケアリ属の羽アリであり、残りはスズメバチ科の生殖虫やその他のハチ類やアリ類であった。餌のサイズは 0.5-1.0cm のものがほとんどであった。次いで 0.5cm 未満のものが多かった。

各餌サンプルにおける個体数と乾燥重量の割合について、主要な餌項目はハチ目の羽アリだったが、それ以外の昆虫が多く含まれるサンプルもあった。例えばハエ目、カメムシ目、コウチュウ目が多く含まれる例があった。この結果から、空中専門採食性鳥類が持ち帰る餌生物は結婚飛行で群飛している昆虫をよく捕獲していることが確認された。群飛は特定の気象条件を満たす局所で発生し、ある程度の時間で消失すると考えられ、それをいかに効率的に探索、発見するかが、本種の餌獲得や繁殖に重要であることが示唆された。

(4)GPS 遠隔追跡

育雛後期に捕獲し、GPS ロガーを装着した6個体で25採食トリップ(巣箱から出て戻るまでの1回の飛行)を追跡した。合計で2,590 GPS 測位点を取得した。1回の採食トリップにかかった時間は、平均4時間56分(範囲:1時間44分-9時間56分)であった。巣を中心とした移動範囲は全方位の広域におよび、南北に約47km、東西に約57kmであった。もっとも長距離として巣から45.62kmの遠方まで移動した例があったが、採食トリップごとにその移動距離は大きく異なっていた。飛行高度は200m以下が多かったが、一時的に400-800mの高空に上昇することが確認された。巣場所以外で測位点が集中した場所の環境要素は、林縁、森林、防風林等の上空であった。

(5)渡り追跡

ジオロケータという小型追跡機器を用い、3個体の2018年秋から2019年春にかけての渡りおよび越冬を追跡することができた。従来からわかっていた本種の越冬地分布と整合する地域でこれらの3個体も越冬していることがわかった。渡り経路や移動パターンはこれまでに知られている陸鳥の中でも特異なものであり、空中採食に専門化し、必ずしも陸上での休息が必要ではない本種の特徴が現れているものと考えられた。経路や越冬地分布などの詳細は、近い将来に学術論文として公表するが、現在は未発表であるのでここに詳述はしない。

(6)まとめと今後の展望

本課題では空中採食に専門化した鳥種を対象とし、「空のニッチ」の成因と利用可能性を調査することを大目標とし、挑戦的研究(萌芽)を展開した。結果として、これからの本格的な研究に繋がる多面的な萌芽的成果を得ることができた。まず本種の繁殖を誘導する巣箱の設計と実用化に成功した。大径木に出来る大型樹洞でしか繁殖しない本種は、現在の森林環境では慢性的に営巣場所が不足している地域が多いと考えられる。巣箱の効果的な利用は、本種の保全に活用できる手段のひとつになる可能性がある。また、今回のような生態研究には捕獲や繁殖過程の観察を容易にする巣箱が不可欠である。

次に飛翔性昆虫を直接サンプリングする手法、また飛翔性昆虫の発生場所と時間を理解するためのドローンの活用はその可能性を期待できる部分的結果が得られたものの、実用化までにはさらなるユニットの改良などの検討課題が残された。人がアクセスできない高度に分布する飛翔性昆虫の採取と空間分布の定量的把握は、基礎研究だけでなく農学分野などの応用研究でも役立つと思われ、引き続き開発を進める。

給餌物調査では、空中由来の食物資源の構成と量、時期的変化に関する知見が得られた。雛に持ち帰る餌の多くは結婚飛行していると考えられるハチ類やアリ類であったが、気象条件によっては、多様な昆虫を持ち帰った。結婚飛行中の群飛は、空中で集中分布する大量の食物資源であり、いったん発見すると「餌場」として大きな価値を持つが、その発生時間は限られたものであると思われる。特定の時期と気象条件を満たしたところに局所的に発生すると考えられるこの食物資源を、ハリオアマツバメがどのように発見し、利用しているのかを解明することがこれからの発展的課題である。

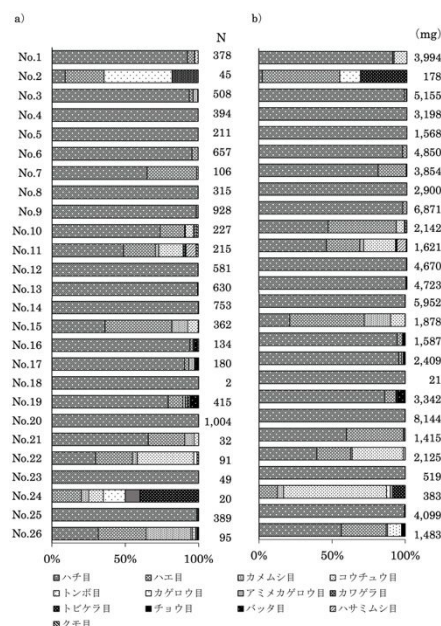


図1. 各餌サンプルの中の目別の出現割合

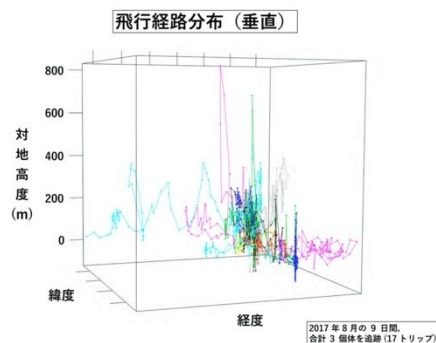


図2. 採食トリップの飛翔対地高度

GPSによるハリオアマツバメの採食飛翔の追跡により、繁殖地での本種が陸鳥としては極めて広範囲の空域を利用していることが明らかになった。東西に40-50km、垂直方向でときに800m上空までにおよぶ空域を繁殖期の採食に利用することは調査地の「空のニッチ」の散在性を物語っている。またアリ類・ハチ類の結婚飛行を本種が広域で探索していることを示唆しているのかもしれない。その高い飛行能力自体も今後の研究対象として挙げられる。

今回実施した渡り追跡により、ハリオアマツバメの地球規模での春秋の渡り経路と越冬地を初めて追跡・特定することに成功した。その移動経路や移動パターン、越冬地での行動はやはり「空のニッチ」やそれを形作る気象条件や地上環境といった環境条件により決まっていると期待される。今後はこのような大スケールでの研究の展開も期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Noriyuki Yamaguchi, Sayaka Mori, Hiroshi Yonekawa, Daichi Waga and Hiroyoshi Higuchi	4. 巻 19
2. 論文標題 Nest boxes for White-throated Needletailed Swift <i>Hirundapus caudacutus</i> to promote conservation and support ecological research	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ornithological Science	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3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森さやか・米川洋・山口典之・樋口広芳
2. 発表標題 巣箱を利用したハリオアマツバメ (<i>Hirundapus caudacutus</i>)
3. 学会等名 日本鳥学会 2018 年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口典之・米川洋・森さやか・樋口広芳
2. 発表標題 繁殖期におけるハリオアマツバメの水平・垂直空間利用：GPS ロガーを用いた解析
3. 学会等名 日本鳥学会 2018 年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 千葉舞・米川洋・和賀大地・森さやか・山口典之・樋口広芳
2. 発表標題 ハリオアマツバメ (<i>Hirundapus caudacutus</i>) の巢内雛への給餌物
3. 学会等名 日本鳥学会 2018 年度大会
4. 発表年 2018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
研究分担者	樋口 広芳 (HIGUCHI Hiroyoshi) (10111486)	慶應義塾大学・自然科学研究教育センター・訪問教授 (32612)	
研究分担者	辻本 浩史 (TSUJIMOTO Hiroshi) (40747490)	京都大学・防災研究所・特定教授 (14301)	
研究分担者	井上 実 (INOUE Minoru) (60578954)	一般財団法人日本気象協会・担当部長 (82692)	
研究分担者	森 さやか (MORI Sayaka) (70623867)	酪農学園大学・農食環境学群・准教授 (30109)	
研究分担者	佐々木 寛介 (SASAKI Kansuke) (10578967)	京都大学・防災研究所・特定准教授 (14301)	