

ロボットが聴く夜の鳥

Robots seeking birds at night

松林志保¹・斎藤史之²・林晃一郎³・鈴木麗壘⁴・有田隆也⁴・中臺一博⁵・奥乃博⁶
Shiho Matsubayashi¹, Fumiyuki Saito², Koichiro Hayashi³, Reiji Suzuki⁴, Takaya Arita⁴,
Kazuhiro Nakadai⁵, Hirohi, G. Okuno⁶

¹大阪大学大学院工学研究科付属オープンイノベーション教育研究センター

²いであ株式会社大阪支社生態保全部

³名古屋大学情報文化学部自然情報学科

⁴名古屋大学大学院情報学研究科

⁵東京工業大学工学院システム制御系・ホンダ RIJ, Ltd.

⁶早稲田大学理工学術院創造理工学研究科

matsubayashi@coire.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract

視覚での観測が難しい夜行性鳥類や昼行性鳥類の夜間の歌行動には未知の点が多い。本稿は、ロボット聴覚とマイクロフォンアレイを用いて夜の森で観測した鳥類の歌行動のうち、夜行性フクロウの親子のやりとり、夜行性トラツグミの移動をともなう歌行動、昼行性コマドリとコルリの夜間鳴きに関する予備的分析結果を報告する。

1 はじめに

鳥類の多くは昼行性であるが、日本ではコノハズクやフクロウなどの夜行性猛禽類、トラツグミやミゾゴイ、サンカノゴイなどのコウノトリ目サギ科の一部、クイナ類、ヨタカなど約 10 種の鳥類が主に夜間に鳴き、ジュウイチ、ホトトギス、アオバト等のハト科の一部が昼も夜も鳴くことが知られている。これらの鳥種には環境変化に敏感であることから生息地の質を間接的に測る指標種や急激な数の減少が懸念される希少種が含まれ、その数や位置の把握は環境アセスメントにおいても重要な調査項目である。昼行性、夜行性ともに鳥類の種の数や種類の把握は人間の観測員による調査が主流であるが、特に夜行性の鳥類の調査現場では、対象種の歌をスピーカーで流しその音源に対象種が鳴き返す声の頻度や推定位置を記録するプレイバック調査が主流である[1]。しかしながら、この人間の「耳」による夜行性鳥類の調査には、正確な位置の把握や複数個体が鳴き返した場合の個体識別、視覚での確認の難しさや再現性・検証性の低さといった限界がある。プレイバックに反応しない種に対しては、例えば夜行性海鳥の巣付近で長期録音デバイス (Wildlife Acoustics 社製 Song Meter) を用いて定点型の長期録音を実施し、録音から個体群内における各種の相対的な割合の推定などが実現している[2]が、依然個体数の推定や、各個体の移動などの空間情報が欠如し対象種の生態の詳細には未解明な点が多い。

一方で、人間主体の野鳥観測の現場では、複数の

マイクで構成されるマイクロフォンアレイが注目を浴びつつある。マイクロフォンアレイ技術の野鳥観測への応用は、従来の単一のマイクで構成されるステレオ・モノラル録音では容易に得られなかった音の到来方向 (direction of arrival: DOA) の推定を可能にするが、その応用事例は機材の価格や機材の利用の難しさなどから限られている[3]。

これらの課題を克服するために、我々はロボット聴覚オープンソースソフトウェアである HARK (Honda Research Institute Japan Audition for Robots with Kyoto University) [4]、市販のマイクロフォンアレイとノート PC を用いた簡易録音システム HARKBird¹を構築し、比較的廉価で汎用性の高いデータ収集を試みている。これまでに、揖斐川河川敷で実施した足環をつけた個体の目視調査に裏付けされたオオヨシキリ 2 個体のソングポストの 2 次元定位[5]、同じくオオヨシキリのオス 2 個体が同時に鳴くことを避ける歌の重複回避行動の観測[6]、森林内で縄張り宣言と威嚇という異なった歌を使い分けるウグイスの挙動観測[7]、林縁に生息するホシワキアカトウヒチョウの歌の種類と 2 次元分布の計測[8]、複数のマイクアレイを用いた森林性鳥類の到来方向に基づく定位・分離精度の検証[9]、森林内に生息するソウシチョウの 2 次元定位[10]など、観測現場を遮蔽物場少なく音の伝達環境の良い草原から多様な植物相が遮蔽物として音の減衰率を高める森林へと、同時に、観測対象を一定のソングポストで長時間鳴き続け定位の容易な種から頻繁に移動する種へと、より定位が難しく実践的な状況へと移行させながら鳥類観測を実施してきた。

さらに近年は、上記の昼行性の鳥類に加え、個体密度も低く目視での観測が困難な夜行性の鳥類のうち、草原に生息するヒクイナ[11]や、森林に生息するフクロウ[12]などの予備的観測も試みている。ヒクイナは国指定準絶滅危惧種、フクロウは 30 都道府県で希少・準絶滅危惧種であり[13]、その生息実態の把握

¹ <http://www.alife.cs.is.nagoya-u.ac.jp/~reiji/HARKBird/>

は重要な課題である。特にフクロウを含む猛禽は、親鳥が敏感である抱卵期や育雛期には外部からの干渉を嫌い結果として巣の放棄につながる確率が高いため、音による受動的観測のメリットは極めて大きい。

本稿は、ロボット聴覚とマイクロフォンアレイを活用して自動抽出した、夜の森で繰り広げられる鳥類の歌行動シーンの観測実例を3つ報告する。夜行性フクロウの親鳥からヒナへの給餌と推定される鳴き交わり、夜行性トラツグミの歌行動、昼行性コマドリとコルリの夜間鳴きの3つのシーンを紹介しつつ、自動観測の有効性を探ることを目的とする。

2 手法

2.1 観測調査地

録音観測実験は標高約1000mの針葉樹の植林パッチを含む落葉広葉樹林（豊田市稲武町名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター稲武・設楽フィールド：以下稲武サイト）と、標高約300mの広葉樹林（大阪府四條畷市むろいけ園地：以下四條畷サイト）の2箇所で行った。稲武サイトは沢と沢の間に位置し、樹齢約50年のカラマツとその樹間に点在するコナラやミズナラなどの落葉広葉樹が高木層と亜高木層を構成し笹が林床を占有する（Figure 1A）。一方の四條畷サイトは、湿地に接した急斜面上に位置しコナラやカシ類の樹冠の下に、リョウブ、ヤブツバキ、ソヨゴの低木層の下に笹などの下層植生が繁茂する（Figure 1B）。実験は稲武サイトでは2017年、四條畷サイトでは2018年5月下旬に晴天ほぼ無風の気象条件下で行った。



A 稲武サイトのカラマツ林



B 四條畷サイトのコナラ混合林

Figure 1 各調査サイトの様子

2.2 録音機材と方法

稲武サイトでは長期録音スタンドアローン型16チャンネルマイクアレイ（SIF社製DACHO）を1台用いて24時間連続録音（Figure 2A）を、四條畷サイトでは、USB接続8チャンネルマイクアレイ（同社製TAMAGO-03）を10台用いて夜10時から約2時間の録音を実施した（Figure 2A）。マイクロフォンアレイはそれぞれ三脚上に地上約1.2mに設置し、その位置をGPSで測定した。録音機材のスペックをTable 1にまとめる。



A 稲武サイト(DACHO) B 四條畷サイト(TAMAGO)

Figure 2 各調査サイトで用いた録音機材

Table 1 録音機材の概要

	DACHO	TAMAGO-03
チャンネル数	16	8
仕様	スタンドアローン、防水型 タイマー録音機能、	USBにてPCと接続
音声入力	16 bit, 16kHz 録音	24 bit, 16kHz 録音
外形寸法	18cm	12cm

2.3 音源定位と定位音の分類

音源定位および音源分離はHARKBirdで提供されるHARKのネットワーク（各種信号処理過程を表すノードをつないで信号処理の流れを示したプログラム）をもとに各観測条件に応じて適宜パラメータを調整して行った。具体的には短時間フーリエ変換によって得た各チャンネルのスペクトログラムからMUSIC（Multiple Signal Classification）法を用いて音源を定位し[13]その定位結果をもとにGHSS

（Geometric High order Decorrelation based Source Separation）法を用いて各音源方向に対応した音源を分離（以下定位）[14]した。

2次元音源定位の際にはSumitaniらの手法[7]を用いて方位角に関して5度ごとに与えられるMUSICスペクトルをスプライン補間して補正した方位角を用い、三点測定の要領で2つのマイクからの音源の到来方位角情報から2次元上の音源位置を算出した。ただし方位角情報のペアの選び方に関してはその分離音のスペクトログラムを64×100ピクセルのグレースケール画像に変換後、t-SNE（t-distributed Stochastic Neighbor Embedding）[15]により2次元にまで次元を圧縮した空間において近いと判断できるもの

を同種の音源とみなし同種音源のペアの方位角のみ採用した。

音源の3次元到来方向の推定についてはHARKTOOLを用いてシミュレーションで作成したDACHO用伝達関数を使用し、HARKBirdからの出力をそのまま用いた。なお5度ごと方位角に対応するMUSICスペクトルが仰角0度から180度までを12等分した15度ずつの方向に関して得られるものを採用している。

2.4 観測対象種

稲武サイトでは夜行性トラツグミ (*Zoothera dauma*)、昼行性コマドリ (*Erithacus akahige*) とコルリ (*Luscinia cyane*)の計3種を観測ターゲットとした。トラツグミは漂鳥として日本各地の低山から公園緑地など広い範囲で生息し、繁殖期の深夜から明け方にかけて不気味な鳴き声で鳴くことで知られる。プレイバックにも積極的に反応しないことから、生息実態も不明であることに加え、例えば森の中のどこで、いつ、なぜ鳴くのかといった生態に関しても未知な点が多い種である。

コマドリは亜高山帯の針葉樹林に生息し、日本3大鳴き鳥の1種として美しい鳴き声で知られる。昼行性であるものの深い森林の林床の笹群など暗く覆われた環境を好み、姿を見せることは少ない。繁殖期にはまれに夜間に鳴く報告[16]もされているが、そもそも昼行性のコマドリが捕食やエネルギー消費といったコストをかけてまでなぜ夜間に鳴くのかの問いは未検証である。一方のコルリも森林に生息する。昼行性で美しい鳴き声をもつが、森林の中の茂みや低層木でさえざるため視覚での観測には技量が必要とされる。

四条畷サイトでは夜行性フクロウ (*Strix uralensis*) を観測対象とした。フクロウは大阪府を含め複数の都道府県で準絶滅危惧種に指定され、生息地の消失などの影響が危惧されるものの、視覚での観測の難しさや個体密度が低さから、正確な生息実態の把握は進んでいない。

3 結果と考察

3.1 3次元音源到来方向観測

Figure 4は、稲武サイトにおいて夜10時半から約3分間のトラツグミの挙動を示す。トラツグミは、北北西方向、仰角0° (水平) の遠方で数回鳴いた後、北北西方向に移り、その後約2分かけてトラツグミが鳴き、近距離を移動するという行動を繰り返しながら、約2分かけてマイクアレイ頭上を越えて、南東方向に直線上に移動する様子を示す。

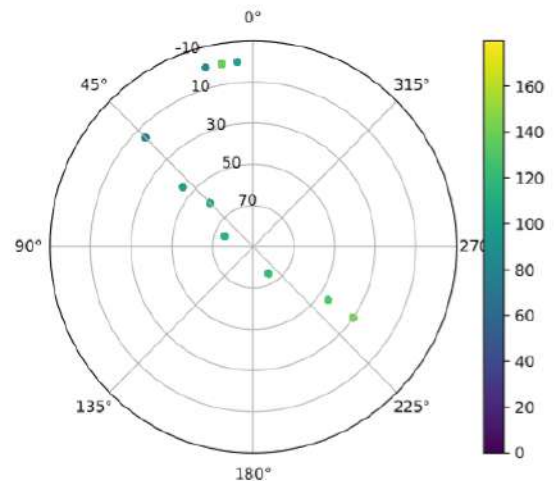


Figure 4 約3分間にわたるトラツグミの3次元定位結果。円の中心がマイクの位置、0°はマイクから磁北、180°は南、270°は東、90°は西方向を示す。半径方向の軸の数字は、仰角の値で円の頂点が仰角90° (地面に垂直)、仰角0°が (水平方向)。

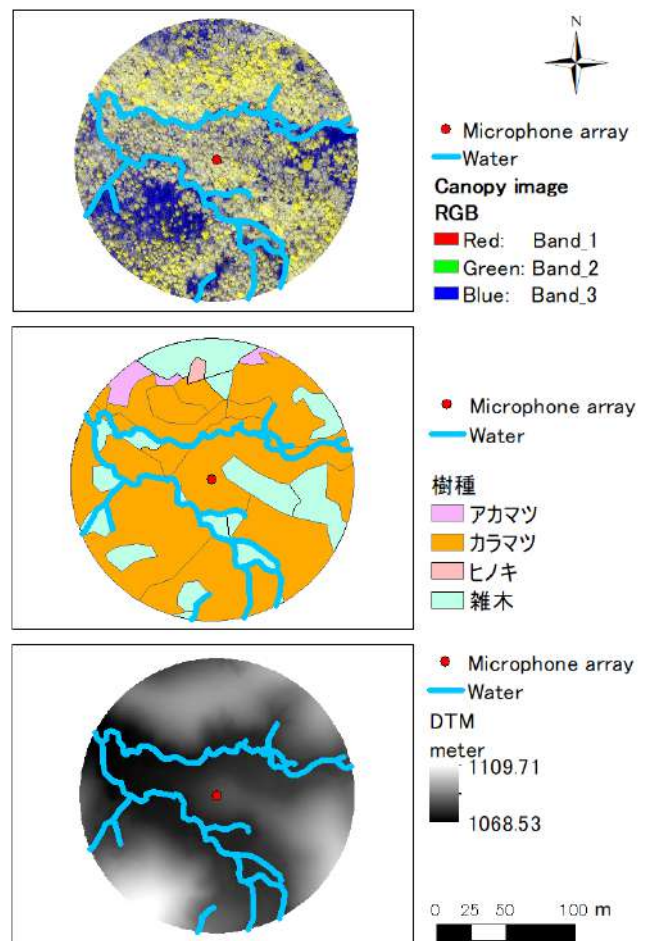


Figure 5 稲武サイトのマイクアレイの周辺半径100m以内の現地の様子。上から順に、航空写真 (2008年頃撮影) のRGB値をPCAを用いて圧縮することで可視化した樹冠の様子 (黄色部分が樹冠を示す)、樹冠を形成する樹種、航空機LiDARで測定した数値地形モデル (2014年撮影)。

定位されたトラツグミの軌跡と、マイクアレイ周辺の樹冠の様子、樹種、地形 (Figure 5) を比較すると、トラツグミは稲武サイト北側の沢沿いで鳴いた後に、高木層もしくは亜高木層の枝を伝いながらマイクアレイの頭上を通り、随時コンスタントに鳴きながら南側の沢筋沿いの落葉広葉樹林へ移動していったことがわかる。

Figure 6 は、同じく稲武サイトで 7:20 PM から 3:30 AM までのコマドリとコルリの定位位置を示す。尚、サイト付近の観測時の日の出時刻は 4:40 AM、日の入り時刻は 19:00 PM であり、観測現場は暗闇であった。Figure 7 は各種が当該時間帯に鳴いた回数を示す。コマドリは日暮れ後に 2 時間に平均 1 回の頻度で計 5 回、コルリは深夜 2 時から計 3 回鳴いた。

本観測時のマイクアレイの設置箇所は、前述のトラツグミのマイクアレイ設置箇所から 10m ほど西に位置する。マイク周辺の様子 (Figure 5) と 3 次元定位結果 (Figure 6) を総合的に判断すると、各鳥種ともマイクアレイ南側の溪流沿いの低木層で鳴いていたことがわかる。また、各個体は全く同位置で定位されていることから約 8 時間に渡る観測時間中、定点で鳴いていたことがわかる。

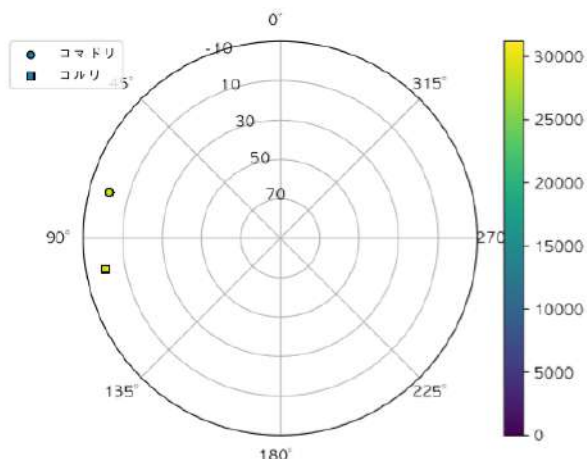


Figure 6 約 8 時間にわたるコマドリとコルリの 3 次元定位結果。各種とも全く同一箇所を複数回定位されたため位置情報は時間経過と共に書き込まれた。

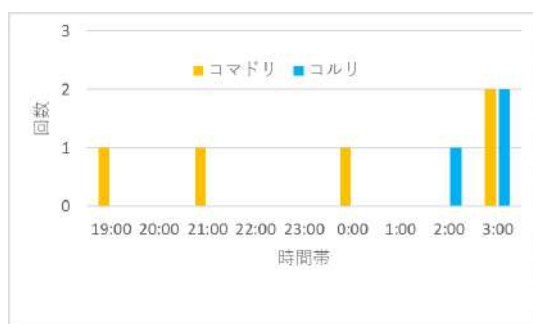


Figure 7 コマドリとコルリの夜間の歌頻度

夜行性トラツグミと昼行性 2 種の夜間鳴きの頻度および 3 次元観測位置を比較すると、各鳥種の歌行動間に明らかな相違が見られた。次にこれら各鳥種の

歌の特徴に着目すると、トラツグミは約 2 kHz の比較的低い周波数で震えるような「フィー」という単調な 1 声を数秒の間隔をあけて鳴く。今回集音したトラツグミの移動速度は推測の域を出ないが、マイクアレイが観測地の環境下でトラツグミの歌を定位できる定位限界距離は最大 100m 程度と推定される。つまりこの距離を移動する間に 7 回鳴いたため約 14m 移動毎に 1 度鳴いたことが推定される。高頻度で鳴くことは同種個体に合図を送る際には有効であるものの、捕食のリスクも伴う。そのため、トラツグミは鳴くたびに位置を変えるという行動により、捕食されるリスクを下げている可能性が明らかになった。

一方のコマドリとコルリは、トラツグミに比べ約 3~5kHz の高い周波数と響きやすい大きな声量で明瞭な歌を一定の場所で鳴くものの、その夜間鳴きの頻度は極めて低い。つまりこれら昼行性 2 種は、主に早朝および日暮れ前のさえずりの後、夜間も引き続き歌を発することで同種個体に求愛もしくは縄張り宣言を行うものの、歌う頻度を大幅に下げることによって捕食者からの注意を引くリスクを回避している可能性が示唆された。

3.2 2 次元音源位置

Figure 8 は、四条畷サイトのフクロウの巣付近で観測した約 1 分間にわたるメス親とヒナのやり取りを定位した結果をしめす。さらにこれら 2 つのマイクアレイで定位した情報を統合することで算出した音源の 2 次元位置と、マイクアレイの位置と巣箱の位置を含む現地の様子を Figure 9 にしめす。この歌シーンでは、数時間狩りで留守にしていたメスが巣箱南側から飛来しヒナに向かって 4 度、ギャーギャーと呼びかけたその 1 度目の鳴き声に、巣箱東側のヒナがキーキーと 10 数回間断無く鳴き答えながら餌をねだっている。2 次元の定位結果では、ヒナの鳴き声はすべて巣箱から約 20m 東側半径約 7m の円内で定位された。

フクロウのヒナは体を支える尾羽が発達するとその尾羽と足でバランスを取りながら木の枝沿いに移動することから始め、徐々に飛行技術を身に付けていく。観測したヒナ個体は、收音 1 週間前に実施した標識調査時の様子 (Figure 10) から、自力飛行するまでは成長していなかったと考えられる。定位音源からはヒナが巣箱から約 20m 離れた位置まで移動して鳴いていたことが示されたが、ヒナの成長度合いから見て実際にはヒナは巣箱から 10m を離れることはなかったと推測される。

定位音源の位置と、ヒナの成長具合から推測される移動可能位置がずれていた理由としては、現地の急勾配、音の伝達を妨げる樹木や植生などの遮蔽物などの非生物的環境要因と、フクロウが鳴きながら移動したため定位位置がずれたという生物的環境要因が考えられる。またこれら上述の要因に加え、地形や季節的にも繁茂する樹冠により GPS の位置情報

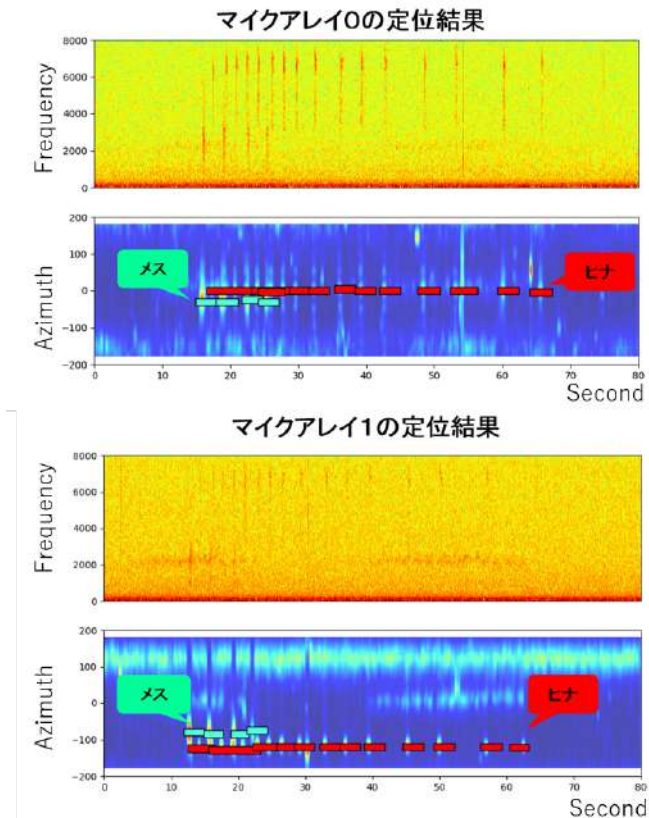


Figure 8 2つのマイクアレイで定位した80秒間の歌シーン。上段が音源のスペクトログラム、下段が定位音源の簡易分類結果とその到来方向を示す。各マイクアレイの位置はFigure 9参照。

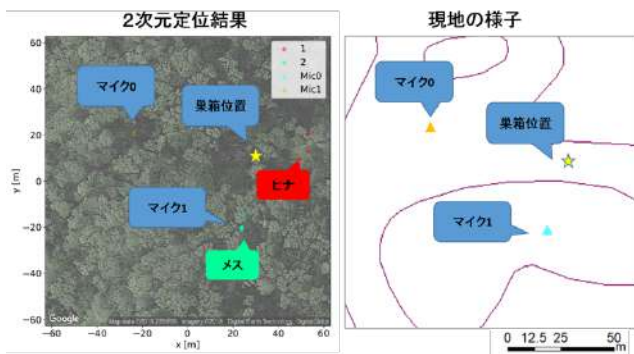


Figure 9 定位した音源付近の現場の様子



Figure 10 定位したフクロウのヒナ。録音観測の1週間前に撮影。

の精度は5m程度の誤差を避けられない状態であった。さらに、マイクアレイを設置する際には、水平に設置したものの、広範囲かつ植生で視界の遮られる森林内で全てのマイクアレイの高さを均一に設置することは不可能であり、このマイクアレイ間の高低差がフクロウの2次元位置を定位する際に新たな位置的なずれを生じさせた可能性も高い。

4 おわりに

本稿は、マイクロフォンアレイとロボット聴覚を用いて夜の森で観測した3つの観測実例を紹介した。トラツグミは、曇天下では夕方にも鳴くこともあるが多くの場合深夜に鳴き、明け方に他の鳥が鳴き出す頃に鳴き止む。その習性からさえずる姿を視覚で観察されることは少なく、さらにプレイバックにもなかなか反応しないことから生息実態そのものも知られていない。本稿の予備的分析結果から、稲武サイトの樹齢50年ほどを経たカラマツ林で、トラツグミ1個体が樹上を移動しながら鳴くことが確認された。またその移動経路は、成熟したカラマツ林の亜高木層の多い溪畔林沿いであることが確認された。成熟したカラマツ林は、トラツグミが巣をかけるのに適した特徴を持つ。予備的分析結果から、観測個体はミミズなどを補食する地上ではなく樹冠もしくはその下の亜高木層で鳴いていたことから、トラツグミの歌は求愛相手のリクルート行為であったことが推測される。

音の通りやすい静かな夜間でリクルート行為を行うことは、歌空間を巡る競争者の少なさというメリットの一方で捕食者の誘因というデメリットも避けられない。しかしながら、トラツグミはもともと不明瞭な「フィー」という一本調子の歌を頻繁に移動しながら鳴くことで、敵に定位されるというリスクを低減させる戦略を選択している可能性がある。

本予備的分析は、コマドリとコルリの昼行性2種が夜間鳴きの存在も明らかにした。これら2種は昼行性であるため明け方のコーラスから夕方までを主な活動時間とする。トラツグミと同様、これら昼行性2種が歌というエネルギーコストをかけ、かつ捕食されるリスクを冒してまでなぜ夜間も鳴くのかは推測の域を出ないが、繁殖期という時期的なタイミングから求愛や縄張り宣言である可能性が高い。これら2種は夜間も昼間と同様に定点に留まり、大声量で明瞭に鳴くものの、その頻度は昼間に比べて格段に低い。つまりその歌頻度の低さで同種のおスメスに必要なメッセージを伝えつつ、捕食されるリスクを下げるという戦略をとっている可能性が示唆された。

一方のフクロウは夜行性である上に個体間距離も大きく観測が難しい種である。予備的分析結果は、マイクアレイとロボット聴覚を組み合わせた当該録音システムの活用により、フクロウのメスとヒナが、いつどこで鳴いたかを示す位置情報付き歌データの

収集が実現することが実証された。

これらの本稿歌シーンの解析が示すように、位置情報付きの歌データを解析することは鳥類の歌行動を観測し生態を理解するにあたり大きな意義を持つ。当該システムの活用により、個体の飛来方向や位置、歌のタイミングなどは従来の観測方法では容易に得られない詳細な空間的・時間的データから、どの個体がいつどこで鳴いたかの情報が明確になった。再現検証性の高いデータの収集は、直接観測の難しい場所や夜の歌行動観測に極めて有用である。繁殖期という時間スパンで考えると、本稿で紹介したいずれの歌行動観測例も比較的短時間であるためその結果は限定的ではある。しかし、本稿の分析結果は各種の歌行動の違いが戦略的な違いを反映する可能性を提起している。

また、長時間観測や簡易分類を含む分析の半自動化によりデータ取集および分析効率は飛躍的に向上した。自動観測は、人間の観測者の影響を排除した野生動物の行動観測を可能にするだけでなく、特に本稿で紹介したフクロウなどの希少種の観測において観測対象種のストレスを軽減するという大きな利点を持つ。

今後の課題として、複数のマイクアレイで集音した際の音源に最寄りのマイクの自動選別や分類性能の洗練があげられる。これらの機能向上により、歌の分析コストはさらに軽減し、さらに長期間広域にわたる観測が実現することが期待される。また複数の3次元のマイクアレイを用いて集音した音の2次元定位[17]や、3次元空間位置を組み合わせることでこれまでの観測方法では容易に得られなかった3次元の鳥のニッチの視覚化や、個体の移動スピードの推定が実現するなど、鳥類の生態解明に向けた応用の可能性がさらに高まると考えられる。

謝辞

高部直紀氏（名古屋大学稲武フィールド）、谷川智一氏（枚方いきもの探査会）、久保勝範氏（NPO法人里山サロン）、熊代直生氏（日本鳥類標識協会）の情報共有、バンディングを含むフィールド調査への協力と炭谷晋司氏（名古屋大学）のデータ解析への尽力とともに、トラツグミが夜間の録音に含まれる可能性を示唆してくださった大坂英樹氏（こまたん）に深く感謝申し上げます。また航空写真とLiDAR地表モデルをご提供いただいた山本一清先生（名古屋大学）に感謝申し上げます。ふくろうの調査は大阪府みどり公社の調査許可の下実施された。本研究の一部は、MEXT/JSPS 科研費 17H06841, JP16K00294, JP18K11467, JP17H06383（新学術「共創言語進化」#4903）のサポートを受けたものである。

参考文献

- [1]Marion, W.R., O'maera, T.E., and O'maera, D.S. (1981). Use of playback recordings in sampling elusive or secretive birds. *Studies in Avian Biology*, 6, 81-85.
[2]Buxton, R.T., and Jones, I.L. (2012). Measuring nocturnal

seabird activity and status using acoustic recording devices: applications for island restoration, *Journal of Field Ornithology*, 83(1), 47-60.

- [3]Mennill, D.J., Battiston, M., Wilson, D.R., Foote, J.R., and Doucet, S. (2012). Field test of an affordable, portable, wireless microphone array for spatial monitoring of animal ecology and behaviour. *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 704-712.
[4]Nakadai, K., Takahashi, T., Okuno, H. G., Nakajima, H., Hasegawa, Y., and Tsujino, H. (2010). Design and implementation of robot audition system "HARK" -open source software for listening to three simultaneous speakers. *Advanced Robotics*, 24, 739-761.
[5]Matsubayashi, S., Suzuki, R., Saito, F., Murate, T., Masuda, T., Yamamoto, K., Kojima, R., Nakadai, K., Okuno, H.G. (2017). Acoustic monitoring of the great reed warbler using multiple microphone arrays and robot audition. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 27(1), 213-223.
[6]Suzuki, R., Matsubayashi, S., Hedley, R., Nakadai, N., Okuno, H.G. (2017). HARKBird: Exploring acoustic interactions in bird communities using a microphone array, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 27(1), 224-235.
[7]Sumitani, S., Suzuki, R., Matsubayashi, S., Arita, T., Nakadai, K., and Okuno, H.G. (2018). Extracting the relationship between the spatial distribution and types of bird vocalizations using robot audition system HARK. *Proc. of the 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2485-2490.
[8]Suzuki, R., Sumitani, S., Matsubayashi, S., Arita, T., Nakadai, K., and Okuno, H.G. (2018). Field observations of ecoacoustic dynamics of a Japanese bush warbler using an open-source software for robot audition HARK, *Journal of Ecoacoustics*, 2, #EYAJ46.
[9]松林志保, 鈴木麗璽, 小島諒介, 中臺一博. (2015). 複数のマイクロホンアレイとロボット聴覚ソフトウェア HARK を用いた野鳥の観測精度の検討. *JSAI Technical Report SIG-Challenge-043-11*, 54-59.
[10]松林志保, 斉藤史之, 鈴木麗璽, 千葉尚彬, 中臺一博, 奥乃博. (2017). 外来種ソウシチョウが在来種の歌行動へ与える影響を探る: マイクロホンアレイを用いた森林性鳥類の観測実例. *JSAI Technical Report SIG-Challenge-049-4(11/25)*, 23-28.
[11]Matsubayashi, S. and Saito, F. 未発表データ.
[12]Matsubayashi, S., Saito, F., Suzuki, R., Nakadai, K., and Okuno, H.G. (2018). Acoustic monitoring of Ural owl (*Strix uralensis*) using microphone arrays and robot audition, HARK. *Abstract book of the 27th international ornithological conference*.
[13]生物情報収集・提供システムいきものログ. 環境省. Retrieved from <https://ikilog.biodic.go.jp/Rdb/pref> on November, 13, 2018.
[14]Schmidt, R.O. (1986). Multiple emitter location and signal parameter estimation. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions*, 34(3), 276-280.
[15]Maaten, L., and Hinton, G. (2010). Visualizing data using t-SNE, *Advanced Robotics*, 24, 739-761.
[16]蒲谷鶴彦, 松田道生. (2001). 日本野鳥大鑑鳴き声 420 増補版. 小学館.
[17]Gabriel, D., Kojima, R., Hoshiba, K., Itoyaka, K., Nishita, K., and Nakadai, K. (2018). Case study of bird localization via sound in 3D space, *RSJ2018AC112-06*. 第36回日本ロボット学期学術講演会.