

猛禽類の鳴き声による位置推定システム (音声レーダー)の開発

いわみ さとし なかもり ひろあき
岩見 聡¹・中森 弘明¹

¹株) オリエンタルコンサルタンツ 関東支社 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)

建設事業に伴う環境アセスメントや各種の自然環境調査においては、生態系の最上位種であり、その地の環境を俯瞰的に把握できる存在である猛禽類の生息状況が調査されている。現地調査では、調査員による猛禽類の飛翔確認や鳴き声識別、巣の探索等が行われているが、基本的に目視や聴覚による調査であり、視界や音を遮るものが多い入り組んだ地形や林内などでは、著しく確認効率が低下すること、毒虫・毒蛇や跳ね枝、イバラ等による負傷等のリスクが存在する。そこで、本研究では、猛禽類の確認漏れが少なく、調査コストも抑制可能で、かつ、調査員の安全にも配慮した新たな調査技術として「音声レーダー」を開発した。

Key Words : オオタカ, 音声解析, スペクトログラム, 音源定位, 音声レーダー

1. はじめに

猛禽類調査は、生息状況や行動圏、繁殖状況の調査は、主に調査員による目視観察や現地踏査によって行われてきた^{1) 2)}。しかし調査対象種となる希少猛禽類は、そもそもの生息個体数が少ないために、仮に生息していたとしても現地調査時の遭遇確率は低く²⁾、条件によっては4人×2日の調査で数例・数秒間の記録ということも稀ではない。さらに採餌行動が活発になる早朝や夕方時間帯の調査や林内の踏査では、視認性が低下する。

現地調査において、発見漏れのリスクを排除するためには、調査人員や調査回数、日数、地点数等の調査努力量を増やす必要があるが、調査圧の増加が猛禽類の行動や繁殖に悪影響を及ぼす懸念や、調査コストの増加に直結する²⁾。また実際の現場では、熟練の調査員の高齢化や人手不足が進んでおり、猛禽類調査に限らず、動植物調査員は期間限定の職業であり、そのみで生活を成立させることが難しいという問題もあり、調査員の確保も難しくなっている。

これらの課題への対応として、音声解析を用いた簡易な調査手法が提案されており^{2) 3) 4)}、猛禽類(オオタカ等)についても、近年、現場で録音した音声から鳴き声を自動判別し「営巣の有無」や「繁殖の成否」を把握した研究例が発表されている^{5) 6) 7) 8)}。一方、音源からの距離や音源の位置推定に関しては、ロボット工学の分野で発展した「音源定位」に関する研究があり、マイクロフォンアレイを用いて鳥類の鳴き声から位置を推定⁹⁾することも試みられている。

この「音源定位」の技術は、猛禽類調査においても営巣地の特定や繁殖期の行動圏を把握する上できわめて有効と考えられるが、現地調査に適用された事例はない。

特にオオタカの場合には、保全対象となる営巣中心域は、巣外育雛期における幼鳥の行動を追跡し、その最外殻にある繁殖に適した林相を有する範囲とする¹⁾。現地調査では、幼鳥の行動は、営巣林から少し離れた場所から飛跡やとまりの位置、鳴き声などをもとに追跡するが、行動範囲は時間の経過と共に変化するため特定には相当の労力を要する。調査員数名で巣立ち後10日前後に1回、20日前後に1回(各2日間程度)という調査が一般的であるが、さらに、いつ巣立つかを確認するための労力も必要となる。

そこで、本研究では、複数の地点で録音した音声からオオタカの鳴き声を抽出し、位置を推定する簡易な調査手法を開発した。

2. 音声レーダーとは

(1) 音声レーダーの構成

音声レーダーの構成を図-1に示す。

まず、オオタカの生息林内の各所にICレコーダーを設置し、長時間の録音を行う。次に、録音された音声データの周波数分析を行い、スペクトログラムを作成して、鳴き声のタイプ毎に鳴き声を判別・抽出する。最後に、複数の地点における同一時刻の鳴き声の音圧レベルを計算し、音の強さの違いより、音源位置を推定する。

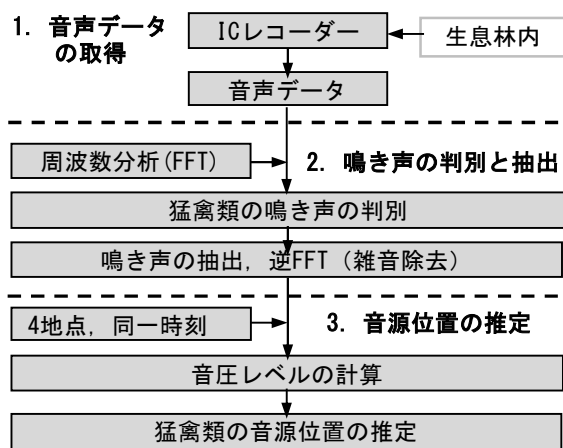


図-1 音声レーダーの構成

(2) 音声データの取得

使用した音声データは、オオタカの繁殖期（巣外育雛期）である2018年7月に、関東地方の河川敷にあるオオタカ営巣林内の16地点に、市販のICレコーダーを設置、収録したものである（図-2、3）

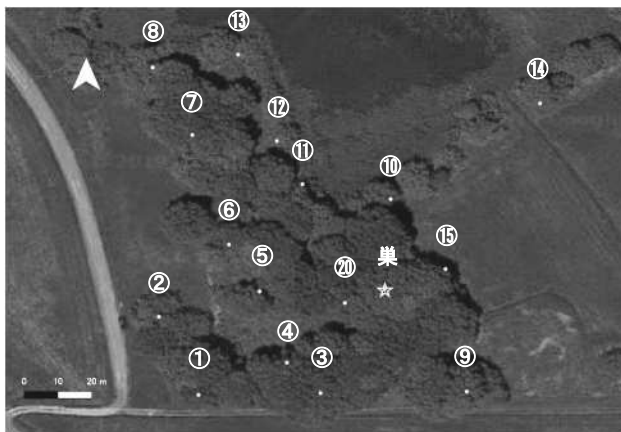


図-2 ICレコーダーの設置位置
巣の周囲の林内および林縁に配置した

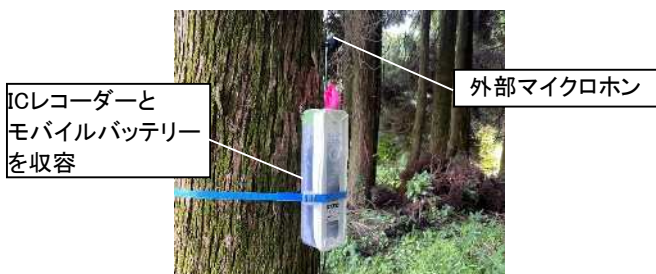


図-3 ICレコーダーの設置例

なお、本研究では、鳴き声の種別は、オオタカを対象として、成鳥（警戒）、成鳥（餌乞い）、幼鳥の3パターンとした。

(3) 鳴き声の判別と抽出

鳴き声の判別は、まず、録音した音声データの周波数分析（高速フーリエ変換；FFT）を行い、スペクトログラムを作成した（図-4）。次に、スペ

クトログラムを時間方向に走査して特徴量を求め、あらかじめ構築した鳴き声の種類を目的変数、スペクトログラムの特徴量を説明変数とする判別モデル（決定木）に代入して、鳴き声を抽出した。

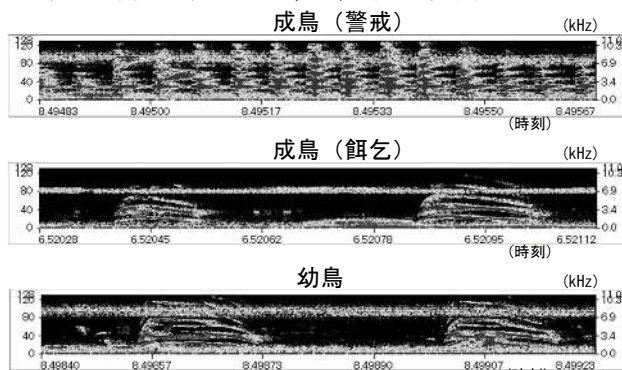


図-4 オオタカのスペクトログラム（巣外育雛期）

鳴き声の判別モデルの説明変数となるスペクトログラムの特徴量は次式により求めた。

$$Q_{ij} = \sum_m \sum_n I_{i-m,j-n} K_{m,n} \quad (1)$$

ここで、 $Q_{i,j}$ ：アウトプットQのi, j成分
 $I_{i,j}$ ：インプットIのi, j成分
 $K_{m,n}$ ：カーネルKのm, n成分

畳み込み積分に使用するカーネル（フィルター）は、水平線検出、左対角線検出、右対角線検出、垂直線検出および平滑化の5パターンを使用した。さらに畳み込み積分後に、最大値プーリング処理を行って、画像サイズも11×33ピクセルに縮小した。

(4) 猛禽類の位置の推定

本研究では、オオタカの営巣林内に格子状に録音地点を配置して得られた音声フレーム（鳴き声を含む区間）のセグメント（有音区間）毎に、全ての地点の音圧レベルを算出した。次に、音圧レベルの高い順に、四角形の配置になるように録音地点を選定した。

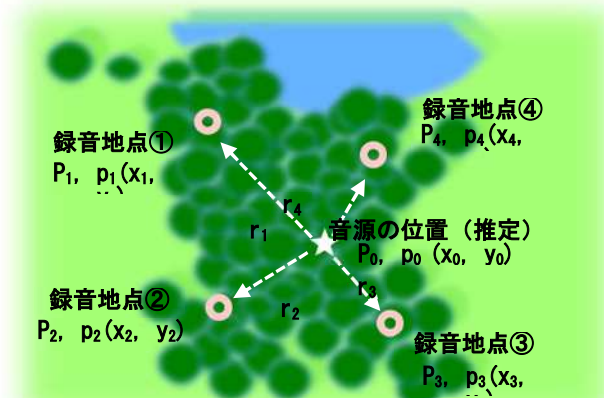


図-5 音源と録音地点の位置関係

$P_0 \sim P_4$ 音圧レベル $p_0 \sim p_4$ 音圧（観測値）
 $r_1 \sim r_4$ 音源からの距離 $x_0 \sim x_4$ X座標 $y_0 \sim y_4$ Y座標

音圧レベルの距離減衰は次式で表される。

$$P_0 = P_i + 10 \log(r_i^2) + 8 \quad (2)$$

ここで、 P_0 : 音源の音圧レベル
 P_i : 音源から離れた地点での音圧レベル
 r : 音源からの距離
 i : 地点番号

次に(2)式を、(3)式のように変形する。

$$\frac{P_0}{10^{0.8}} = P_i((x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2) \quad (3)$$

4地点の録音地点の音声データを用いて音源の位置を推定する場合、音源の位置は(3)式から導出される三元連立方程式で示され、これを解くことで音源の座標(x_0 , y_0)を求めた。

4. 音声レーダーによる解析例

オオタカの巣外育雛期において、ICレコーダーの音声データを使用し、音声レーダーで推定した音源の位置と、同時に現地調査で確認したオオタカの位置を比較した。(図-6)

両者の結果は概ね一致していたが、巣の20mほど北西方向の箇所では、現地確認されていない場所が音源(警戒・成鳥)として推定されていた。

現地確認位置は、目視確認した場所のみ記録している。実際には、音源として推定された位置で鳴いていたと考えられ、音声データのみから個体位置を推定できる音声レーダーの有用性を示すものと考えられる。

一方、オオタカ幼鳥の分散について、幼鳥に電波発信機を装着して追跡した研究では、オオタカの営巣地からの分散は、巣のそばから急にいなくなるタイプ、徐々に巣から離れていくタイプ、そして一度巣から比較的近い位置に移動し、しばらく滞在した後更に分散するタイプが認められている。図-6では、巣の近傍(北西)に音源(幼鳥)が集中している箇所がみられるが、徐々に巣から離れて現在地に至ったか、一度巣から比較的近い位置に移動し、しばらく滞在した後更に分散するタイプに該当するものと考えられる。

なお、オオタカの場合、保全対象となる営巣中心域は、巣外育雛期における幼鳥の行動を追跡し、その最外殻にある繁殖に適した林相を有する範囲とする¹⁾が、行動範囲は時間の経過と共に変化するため特定には相当の労力を要する。また、現地調査結果を基に設定する営巣中心域は、基本的に林分単位となるため、実情よりも広くなることが多いと考えられる。他方、巣外育雛期に録音した全てのデータを使用して、音声レーダーで推定した幼鳥の音源位置の最外殻の点を結ぶと巣外育雛期の幼鳥の行動範囲が得られることになり、営巣地として保全すべき林分を絞り込む上で有効と

考えられる(図-7)。

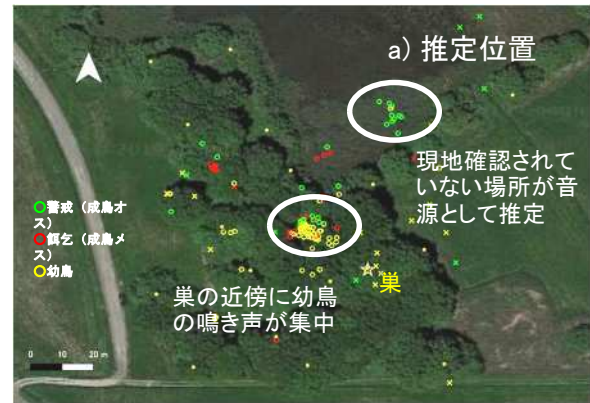


図-6 音声レーダーによる推定位置と現地確認位置
a)図中の○および×は推定位置を示し、×は全録音地点をつないだ最外殻線よりも外側にあることを、b)図中の記号は同時刻に現地確認した個体位置の番号を示す
(作図期間:2018年7月9日午前6時25分~6時59分)



図-7 音源の推定位置から設定した営巣中心域の例
実際には、巣外育雛期を通して録音した全データから音源位置をプロットして作成する必要がある

録音地点は、既知のオオタカの営巣林内に約20m間隔で配置したが、しばしば猛禽類調査時では、繁殖への影響を避けるために、営巣林内に立ち入らずに調査を行うことが求められる。この場合、営巣林を囲むように録音地点を配置することが想定され、音源(営巣木や個体の位置)から録音地点までの離

隔は、100m以上となることも考えられる。この場合、営巣林内の立ち木による音の遮蔽や吸収が、位置推定の精度に及ぼす影響を考慮する必要があるが、繁殖初期（求愛・造巣期）において、営巣の可能性を判断したり、営巣の可能性の高い場所（巣など頻繁に鳴く場所）を絞り込んだりする場合には、音源の位置をピンポイントで把握する必要はないため^{2) 4)}、営巣の可能性のある林分の周囲に録音地点を配置して、繁殖の行動を把握することで十分と考えられる。したがって、どこまで推定精度を求めるかについて調査や研究の目的にあわせて検討し、もし営巣林内の細かな行動を追跡する場合には、録音地点を営巣林内にも配置する必要がある。

5. おわりに

本研究では、猛禽類調査を効率的、効果的に実施するためのツールとして、オオタカを対象に、営巣林に設定した録音機から鳴き声を自動で判別・抽出し、複数の録音地点での音の大きさから音源の位置を推定するシステム（音声レーダー）を開発した。本研究の特徴は、安価で入手が容易な市販のICレコーダーを用いる点であり、設置・回収を除けば無人でデータを取得できることから、繁殖中の猛禽類への調査圧を最小限にしつつ、定点調査や林内踏査の調査努力量（調査コスト）を軽減できる利点がある。これはオオタカ以外の猛禽類や鳥類についても同様であり、特にオオタカ以上に巣の特定が困難なケースが多いサンバ^{*1}やフクロウ^{*2}については、その生息状況・繁殖状況・巣の位置を安全かつ効果的に把握するための有効なツールとなりうると思われる。

なお、音声レーダーは、株式会社オリエンタルコンサルタンツと公立大学法人石川県立大学との共同研究を通じて開発したものであることを付記する。

*1 オオタカの巣は比較的視認しやすく、短時間の林内踏査で状況把握可能なケースが多いが、サンバの巣は、視認困難で営巣林内をくまなく踏査してもなお推定にとどまり、結果調査圧が非常に高くなるケースも多々ある。

*2 フクロウは夜行性のため、日中に生息確認できることは稀である。また、一般的に樹洞で繁殖するが、フクロウが繁殖するに足る樹洞を有する大木は極めて稀（特に住宅地周辺ではほぼ皆無と言っても過言ではない）であり、神社の軒下・木の又等大凡巣として認識されない場所を利用しているケースも多い。

参考文献

- 1) 環境省自然環境局野生生物課：猛禽類保護の進め方（改訂版）- 特にイヌワシ、クマタカ、オオタカについて - , 環境省自然環境局, 88pp, 2012.
- 2) 上野裕介・栗原正夫：猛禽類調査における新技術の適用可能性と技術的検証, 土木技術資料, 58-7, pp. 40-43, 2016.
- 3) 植田睦之：森林の夜行性鳥類の効率的な調査時刻と録音による調査の可能性, Bird Research, Vol. 4, pp. T1-T8, 2008.
- 4) Brandes, TS. : A comparative study in birds: Call-type independent species and individual recognition using four machine-learning methods and two acoustic features, Bird Conservation International, Vol. 49, pp. S163-S173, 2008.
- 5) 上野裕介, 栗原正夫：音声認識技術を用いたオオタカの生息有無と繁殖段階の簡易判定法の試作, 土木学会論文集 G (環境) 72 巻 6 号, pp. II_341-II_349, 2016.
- 6) 鈴木雅人, 前川侑子, 河野郁央, 栗原健, 小野寺遼：猛禽類の鳴き声から AI 技術を活用した自動識別器の構築, 令和 3 年度 建設コンサルタント業務研究発表会新技術・新領域分野論文, pp109-112, 2021
- 7) 太田望, 今井俊輔, 延原肇：深層学習による野外録音音声からの動物の鳴き声検出とその環境影響評価への応用-オオタカの鳴き声を事例として-, 情報処理学会第 80 回全国大会論文集, pp3-379-3-378, 2018
- 8) Yuko Maegawa, Yuji Ushigome, Masato Suzuki, Karen Taguchi, Keigo Kobayashi, Chihiro Haga, Takanori Matsui : A new survey method using convolutional neural networks for automatic classification of bird calls, Ecological Informatics, Vol61, pp1-33, 2021
- 9) 松林志保・斎藤史之・林晃一郎・鈴木麗聖・有田隆也・中臺一博・奥乃博：ロボットが聴く夜の鳥, 人工知能学会資料 JSAI Technical Report SIG-Challenge-052-4 (12/3), pp. 15-20, 2018.
- 10) 植田睦之・百瀬浩・山田泰宏・田中啓太・松江正彦：オオタカの幼鳥の分散過程と環境利用, Bird Research, 2, pp. A1-A10, 2006