

猛禽類調査における新技術の適用可能性と技術的検証

上野裕介・栗原正夫

1. はじめに

道路や河川、ダム、発電所などの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、猛禽類の生息状況が調査されている^{1),2),3),4)}。この理由として、国内に生息する猛禽類の多くが、国や都道府県のレッドデータブックに記載の希少種であり、かつ地域の自然環境の豊かさを示す象徴種であることが挙げられる。

一般的な猛禽類の生息状況調査では、調査員による目視観察が主体である^{2),3),4)}。このため調査には、多くの人員と期間を必要とし、また精度の高い調査には、経験豊かな調査員が不可欠である。これら猛禽類調査を効率化・高度化するため、著者らは、動物調査等で開発・実証段階の新技術の情報を収集し、猛禽類調査への援用が見込まれる技術の特徴や使用上の留意点等を整理した。

本報文では、これら新技術の整理結果に加え、特に、赤外線サーモカメラと小型GPS内蔵の位置追跡装置、船舶レーダーを用いて猛禽類の発見と追跡調査の有効性についての検証結果、ならびに猛禽類（オオタカ）の生息有無や繁殖行動を音声解析によって機械的に判定するための技術の開発状況を報告する。なお、これらの整理と検証結果の詳細については、2016年3月発行の国総研資料907号「新技術等を用いた猛禽類の調査手法に関する技術資料⁵⁾」に取りまとめたので、詳しくは、そちらを参照していただきたい。

2. 猛禽類調査の現状と課題

環境アセスメントや各種の自然環境調査等における猛禽類の生息状況調査では、大きく2つの確認が重要になる。第1に、個体の生息有無の確認である。なぜなら希少猛禽類が生息する場所は、前述の環境アセスメントでは環境保全措置（猛禽類の生息に配慮した工事）の対象となり^{2),3),4)}、自然環境調査では豊かな生態系の指標となるから

である。第2に、繁殖有無と雛の巣立ち有無の確認である。猛禽類の生息に加え、巣や繁殖行動（交尾など）が確認された場合には、より手厚い環境保全措置が求められる^{2),3),4)}。さらに環境保全措置の効果検証や猛禽類個体群の長期的な存続可能性の確認のためには、無事に雛が巣立ったかどうかの情報も重要になる。

現在、これら猛禽類の生息有無や繁殖状況の調査では、調査員による目視観察や現地踏査に大きく依存しているが⁴⁾、課題も多い。なぜなら目視観察や現地踏査は、明るく開けた場所では有効である一方、薄暗い時間帯や霧発生時の調査や、視界を遮るものが多い林内の調査などでは、著しく視認性が低下する。また希少猛禽類は、そもそも生息個体数が少ないため、限られた時間内での調査では遭遇確率が低く、発見漏れのリスクも高い。このため、新たな調査技術が求められている。

3. 新技術を用いた猛禽類調査

3.1 様々な調査技術

近年、動物調査の分野において、様々な先端機

表-1 猛禽類調査に援用可能な新技術等の一覧

活用場面	技術の名称
個体の生息を確認する	赤外線サーモカメラ
	UAV（ドローン）
	UAV + 赤外線サーモカメラ
	鳴き声録音（音声解析）
	鳴き返し（コールバック）
個体の位置を確認する	テレメトリー
	GPS搭載型電波発信機（GPSアルゴス）
	GPS搭載型電波発信機（GPS-TX）
	ATS（アドバンスド・テレメトリー・システム）
繁殖状況等を確認する	船舶レーダー
	加速度センサー、ジャイロセンサー
	CCDカメラ（常時監視・一時確認用）
	インターバルカメラ
	センサーカメラ
	装着型カメラ
個体の識別精度を高める	如意棒カメラ
	標識
	マイクロチップ
	遺伝子解析

器や技術を用いた調査手法が考案されている。

ここでは実用あるいは研究段階にある動物のモニタリング手法の中で、猛禽類の調査にも援用可能と考えられる技術を整理した。その結果、調査用途別に、1. 個体の生息を確認する、2. 個体の位置を確認する、3. 繁殖状況等を確認する、4. 個体の識別精度を高める技術、に大別することができた(表-1)。実際の調査では、目的や必要に応じ、これらを組み合わせて使用することになる。

本報文では、これらの技術のうち、特に4種の技術について実証実験を行った結果を報告する。これら4種の技術は、いずれも有効に機能すれば猛禽類調査の大幅な省力化が見込まれる一方、技術的な検証実績がない点で一致している。

3.2 GPS搭載型電波発信機の特徴と検証結果

人工衛星との通信によって位置情報を取得する衛星測位システム(GNSS)と電波発信機が一体となった装置に、GPS搭載型電波発信機(GPS-TX)がある。GPS-TXを対象個体に装着すると、内蔵のGPSが位置(緯度・経度・高度)を測位し、無線でリアルタイムに伝送する。この伝送された位置情報を移動可能な簡易基地局で受信し、調査対象の位置を記録/可視化する。本技術を用いた動物調査は、大型哺乳類で実績があるが、猛禽類については機器を小型化する必要があり、研究実

績がなかった。

実証実験では、鷹匠が飼養中のオオタカにGPS-TXを装着し、オオタカを一時的に放鳥し、その位置や飛行経路を調べた。実験は2か所の森林で実施し、GPS-TXの簡易受信局からの距離は、それぞれ約2 kmと約5 kmであった。なお使用機材(GPS-TX)は、オオタカに装着できるように、新たに小型化・軽量化した試作機(重量35.5g、縦53×横42×厚さ16mm、技適証明済)とした(図-1)。またGPS-TXの測位精度を確認するため、超小型のGPSデータロガー(電波発信機能なし)も、併せてオオタカに装着した。これらを基に、GPS-TXの特長と課題、活用可能性を検討した。

実験の結果、GPS-TXはオオタカの移動経路を数秒間隔で詳細に記録し、リアルタイムで2~5 km離れた簡易基地局に電波を送信できていた。なお、GPS-TXの正確な測位精度は未検証ながら、比較対象としたGPSデータロガーの記録と非常によく整合しており(図-2)、両者の差は林内で数m~十数m内に収まっていた。したがってGPS-TXは、良好な位置精度と広い調査範囲、調査の省力化が見込める点で優れた技術と言える。

一方、GPS-TXには課題もある。まず、猛禽類を捕獲し、機器の装着が必要である。個体への負荷を最小限にするためにも、熟練者による捕獲・装着と、体重の5%未満の小型機材の開発が不可欠である。次に、猛禽類に装着可能な小型のGPS-TXでは、搭載できる電池も極小サイズであるため、電池寿命が短い(今回の試作機は、電池寿命が約2週間、位置情報の総発信回数が約1500回)。そのため調査目的が、短期間の詳細な位置情報の把握であるならば、GPS-TXは有効なツールとなる。今後、省電力の電波発信機と小型かつ軽量で大容量の電池の開発が進むことで、より長期の調査が可能になり、繁殖期を通じた親鳥の行動圏把握や巣立ち後の幼鳥の移動経路調査など、様々な目的に対応可能な技術となる。

3.3 赤外線サーモカメラの特徴と検証結果

熱を感知する赤外線サーモカメラは、夜間の哺乳類調査では広く用いられているが、羽毛に覆われ、かつ林内を自在に飛行する猛禽類を対象にした調査事例は、報告がなかった⁶⁾。

実証実験では、2種類の赤外線サーモカメラ(一般用と動物調査用)を用意し、上述のGPS-



図-1 左図・中央図：オオタカに装着した電波発信機(GPS-TX)。右図：金属製ボールでできた簡易基地局の受信アンテナと設置の様子。

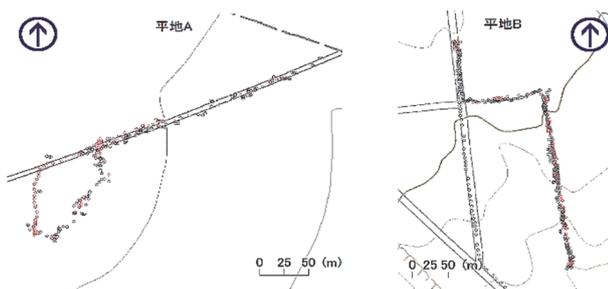


図-2 オオタカの移動軌跡
赤丸がGPS-TXによる測位位置、黒丸が比較対象のGPSデータロガーによる測位位置



図-3 木に止まろうとするオオタカを撮影した画像
左から順に、一般用の赤外線サーモカメラ、動物調査用の赤外線サーモカメラ、ビデオカメラの画像。オオタカまでの距離は、約50mある。

TXの調査と同様に、放鳥したオオタカの撮影を行った。これらの結果を基に、赤外線サーモカメラによる猛禽類の視認状況を明らかにし、調査手法の特長と課題、活用可能性を検討した。

実験の結果、赤外線サーモカメラは、日中の日当たりの良い場所では、地面や樹木、葉などから反射した赤外線（太陽光）の影響により、猛禽類と周囲の環境の識別が困難であることがわかった。他方、夕方～日没前の林内では太陽光の影響をほとんど受けず、赤外線サーモカメラによってオオタカを明瞭に確認できた（図-3）。したがって時間帯や場所を選ぶことで、赤外線サーモカメラの能力が発揮できることが確認できた⁶⁾。また2機種を比較した結果、温度の違いを白黒表示可能な動物調査用の赤外線サーモカメラ（図-3 中央）の方が、より観察が行いやすいことがわかった⁶⁾。

赤外線サーモカメラの活用場面には、林縁など薄暗い場所での行動確認（営巣林への成鳥の出入りや幼鳥の追跡）や巣内のヒナの確認、夜明け前の林内調査によるねぐらの確認などが考えられる。

3.4 船舶レーダーの特徴と検証結果

船舶レーダーは、一般に洋上を航行する船に搭載し、周囲の船舶や陸地などからのレーダー反射波（反射エコー）を受信することで、対象物の有無や対象までの距離と方位を把握する技術である。一方で、このレーダーに鳥の反射エコーが映ることが古くから知られてきた。

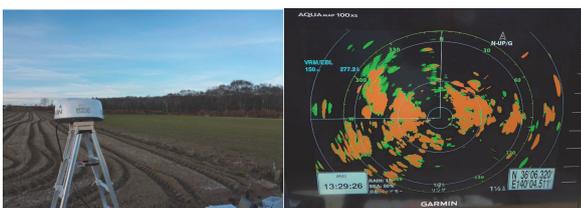


図-4 船舶レーダーの設置状況(左)と受信画面(右)
受信画面は、地面や樹木からのレーダー反射波（ノイズ：オレンジと緑色の部分）に占められている。

この船舶レーダーの特性を活かし、近年、上空を飛行する渡り鳥や風力発電所の建設予定地での鳥類調査などで使用実績が増えてきた。しかし、猛禽類が利用する林縁部や畑地、谷地形などの障害物や起伏の多い環境や、低空を飛ぶ猛禽類の調査での有効性についてはわかっていない。

そこで実証実験では、船舶レーダーの中でも、海鳥の発見を目的に開発されたバードレーダーを用い、レーダーによる猛禽類等の捕捉状況、調査可能範囲、手法の特長と課題を検討した。

実験の結果、レーダー波が樹木や地面に反射し、受信画面上に大量のノイズが発生したため、放鳥したオオタカの探知ができなかった（図-4）。他方、レーダーを高い位置に設置することで地面からの反射波を軽減でき、レーダーの周囲（ノイズの原因となる樹林や障害物がある方向）に電波吸収材を設置することにより、ある程度ノイズが軽減できることがわかった。また、開けた場所ではノイズが少なく、500mほど離れた場所を通過する猛禽類（トビ）を探知できることもわかった。

今後、船舶レーダーを、林縁や地上近くを飛翔する猛禽類の調査に用いていくためには、電波吸収材の利用やレーダーの設置方法の工夫によってノイズの軽減を図った後に、実際の猛禽類調査に近い様々な地形や植生タイプのもとで、改めて技術的検証を行うことが必要である。

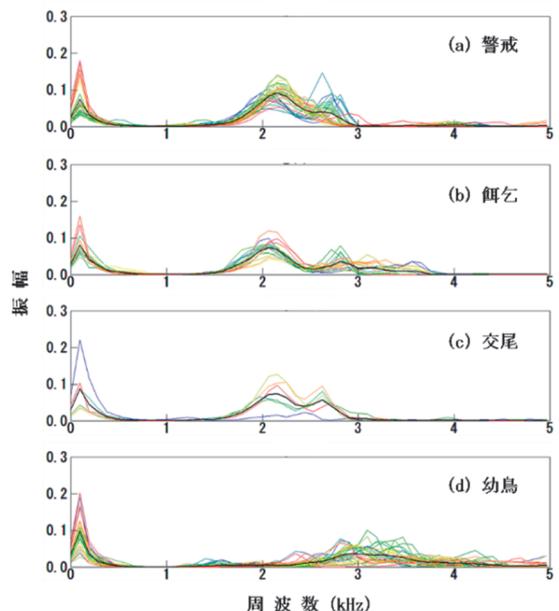


図-5 オオタカ音声の周波数と波形の特徴
色つきの線は、1回の鳴き声ごとの音声の波形を、黒い太線は、それらの平均値を示す。

3.5 鳴き声録音（音声解析）の特徴と検証結果

鳥類学研究の分野では、古くから鳴き声の声紋解析などの音声研究が蓄積されてきたが、それらを活用した野外調査の効率化はほとんど行われてこなかった。他方、近年の情報処理技術の急速な進歩に伴い、自動音声認識の技術も発展してきた^{7),8)}。このため新たな鳥類調査手法として、声紋解析と音声認識技術を組み合わせた「鳴き声による種判別技術」に注目が集まっている^{7),8)}。

そこで希少猛禽類のオオタカを対象に、音声認識を用いた生息判定技術の開発を試みた。研究では、まず巢内ビデオの記録データからオオタカの鳴き声を抽出し、次に音声学的な特徴（周波数、波形など）によって、鳴き声のパターン（警戒、餌乞、交尾、幼鳥など）を分類した（図-5）。さらに統計学的手法である決定木分析を実施し、オオタカの音声の自動パターン判別モデル（パターン分けを行う際の音声学的な特徴量の判別基準と閾値）を調べた。

構築したオオタカの音声判別モデルの適合率（正答率）を、別の音源データで検証した結果、モデルと同一地区内では約87%、他地区に適用した場合も約65%という高い判別性能を示した。

したがって本モデルに改良を加えることで、様々な地区に対応可能な音声判別モデルが構築でき、簡易な調査法につながる可能性がある。例えばオオタカの生息が予想される林に、ICレコーダー等の録音機器を数日から1週間程度設置し、その後、ICレコーダーから回収した録音データを解析することで、オオタカの生息有無や繁殖状況の確認を容易に行うことができるようになる。

4. まとめ

猛禽類調査では、これまで多くの労力を投下して、定点踏査や林内踏査が実施されてきた⁴⁾。そこで本報文では、猛禽類調査の効率化と高度化を目的に、研究開発が進む新技術等を用いた猛禽類調査手法について紹介した。

一方で技術の進歩はめざましく、本報文で紹介した技術が、数年後には大きく改良され、広く普及している可能性や、逆に未知の技術が出現する可能性もある。そのため実際の事業や調査で用いる際には、現地の状況や調査の目的、コスト等を

勘案し、最適な手法を選んでほしい。これら新たな調査技術を取り入れることで、希少猛禽類の生息環境の理解と保全につながることを願っている。

謝 辞

本研究にあたって、資料の収集にご協力頂いた国土交通省の各地方整備局等の皆様、調査地をご提供頂いた筑波大学農林技術センターの皆様、この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 環境アセスメント学会 編：環境アセスメント学の基礎、恒星社厚生閣、東京、2013
- 2) 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、2012
- 3) 環境省自然環境局野生生物課：サンバ保護の進め方、環境省自然環境局、2013
- 4) 上野裕介、栗原正夫、大城温、井上隆司、瀧本真理、光谷友樹、長谷川啓一：環境保全のための取り組みに関する事例集(平成27年度版)、国土技術政策総合研究所資料 第906号、国土技術政策総合研究所、2016
- 5) 上野裕介、栗原正夫：新技術等を用いた猛禽類の調査手法に関する技術資料、国土技術政策総合研究所資料 第907号、国土技術政策総合研究所、2016
- 6) 上野裕介、栗原正夫：赤外線サーマルカメラを用いた猛禽類の林内調査手法、応用生態工学会誌、印刷中
- 7) 東谷幸治、三田長久、牧野洋平：音声情報を用いたニューラルネットワークによる野鳥の種識別、電子情報通信学会総合大会講演論文集 2007年 情報・システム、146(2)、2007
- 8) Mielke, A. and Zuberbühler, K.: A method for automated individual, species and call type recognition in free-ranging animals, *Animal Behaviour*, 86(2), pp. 475-482, 2013

上野裕介



研究当時 国土交通省
国土技術政策総合研究所
防災・メンテナンス基盤
研究センター緑化生態研
究室 研究官、現 東邦
大学理学部、博士(水産科
学)
Dr. Yusuke UENO

栗原正夫



国土交通省国土技術政策
総合研究所社会資本マネ
ジメント研究センター
緑化生態研究室長
Masao KURIHARA